

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

К.А. Аксенов, Ван Кай

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА
РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ
НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

монография

Ульяновск
Зебра
2016

УДК 004.896
ББК 32.973.202
А 42

Рецензенты:

Филиппович Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, декан факультета информатики и систем управления ФГБОУ ВО «Московский государственный машиностроительный университет».

Лукин Николай Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, научный руководитель группы микропроцессорных архитектур, ФГБУН «Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук».

А 42 Аксенов К.А., Ван Кай Разработка и применение метода реинжиниринга бизнес-процессов на основе мультиагентного моделирования: монография. – Ульяновск: Зебра, 2016. – 192 с.

Современные методы анализа и динамического моделирования бизнес-процессов часто сталкиваются с объектами, в которых количество элементов составляет сотни, а то и тысячи. Производственные и бизнес-процессы, организационно-технические системы относятся к процессам преобразования ресурсов. Для формализации моделей лиц, принимающих решения, и сценариев принятия решений в данной работе предлагается использовать аппарат экспертных и мультиагентных систем. В работе описаны принципы построения, анализа и изменения мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов с помощью метода реинжиниринга бизнес-процесса на основе анализа узких мест и процедур сверток/разверток.

УДК 004.896
ББК 32.973.202

ISBN 978-5-9908739-3-3

© Аксенов К.А., Ван Кай, 2016.
© Оформление.
Издательство «Зебра», 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	7
1. Бизнес-процессы предприятий и организационно-технические системы как объект моделирования и управления	10
1.1. Применение информационных систем и моделирования в управлении процессами предприятий	10
1.2. Реинжиниринг бизнес-процессов	16
1.3. Мультиагентные процессы преобразования ресурсов.....	21
1.3.1. Имитационное моделирование и мультиагентный подход	21
1.3.2. Динамическая модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР)	24
1.3.3. Процессы преобразования ресурсов и их классификация	28
1.4. Понятие и свойства процедур свертки, развертки модели	34
1.5. Анализ современного состояния разработки информационных систем и проблемы использования средств имитационного моделирования	38
1.6. Обзор и сравнительный анализ систем динамического моделирования ситуаций	43
1.6.1. Обзор систем динамического моделирования ситуаций (СДМС)	43
1.6.2. Требования к СДМС бизнес-процессов и ОТС	47
1.6.3. Сравнительный анализ СДМС	49
1.7. Постановка задачи исследования.....	51
2. Метод принятия решений задачи реинжиниринга (свертки/развертки) динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов	52
2.1. Требования к методу принятия решений задачи анализа и синтеза процесса преобразования ресурсов.....	52
2.2. Представление модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов в виде многоканальной системы массового обслуживания	55
2.3. Анализ и синтез модели МППР	58
2.3.1. Задачи анализа и синтеза	58
2.3.2. Элементы и свойства графа образа модели	61
2.3.4. Сворачиваемость и разворачиваемость графа образа модели	68
2.3.5. Объединение нескольких условий запуска в одну процедуру	72
2.3.6. Свертка условий запуска операций	74
2.3.7. Свертка массива очереди заявок.....	75
2.4. Виды синтеза и разработка концептуальной модели предметной области реинжиниринга модели МППР	77
2.5. Теоретическая основа метода реинжиниринга – операционный анализ вероятностных сетей	83
2.6. Алгоритм проведения реинжиниринга модели МППР (анализа и структурного синтеза модели)	88
2.7. Сравнение нового метода принятия решений задачи реинжиниринга с существующими	101
2.8. Сравнение предлагаемого метода и метода критического пути.....	105
2.9. Выводы	123
3. Программная реализация метода анализа и процедур свертки информационной динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов	125
3.1. Постановка задачи на разработку интеллектуального агента (визарда) реинжиниринга моделей	125
3.2. Построение DFD-диаграммы и диаграммы прецедентов программного комплекса (ПК) визарда анализа и синтеза (реинжиниринга)	128

3.3. Проектирование диаграммы классов и программная реализация ПК визарда реинжиниринга.....	130
3.4. Выводы.....	140
4. Применение метода реинжиниринга динамических мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов к задаче строительства многоэтажных зданий...	141
4.1. Описание задач принятия решений в области строительства	141
4.2. Информационная поддержка процесса строительства	143
4.3. Разработка моделей строительного холдинга CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING WANGXIANG.LTD).....	144
4.4. Реинжиниринг имитационной модели строительного холдинга	149
4.5. Проведение эксперимента с моделью строительного холдинга «Wan Bao»	151
4.6. Применение операционного анализа вероятностных сетей и имитационного моделирования к задаче анализа загрузки грузовиков.....	163
4.7. Выводы.....	174
Заключение	175
Список литературы	178

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

CPM	Critical path method - метод критического пути
PERT	Project Evaluation and Review Technique
RCP	Resource Conversion Process – процесс преобразования ресурсов
UML	Unified Modeling Language
АСУ	Автоматизированная система управления
БВСЦ	Блок выбора сценария
БД	База данных
БЗ	База знаний
БП	Бизнес-процесс
ЗА	Значение атрибута
ИА	Интеллектуальный агент
ИАтр	Имя атрибута
ИК	Имя концепта
ИМ	Имитационное моделирование (имитационная модель)
ИНС	Интеллектуальная система
ИП	Информация о применении
ИС	Информационная система
ИТ	Информационные технологии
ИФ	Имя фрейма
КИС	Корпоративная информационная система
КГ	Концептуальный граф
КМПО	Концептуальная модель предметной области
КО	Концептуальное отношение
ЛПР	Лицо, принимающее решения
МАС	Мультиагентная система
МО	Множество определения
МППР	Мультиагентный процесс преобразования ресурсов
ООП	Объектно-ориентированный подход
ОТС	Организационно-техническая система
ПК	Программный комплекс
ПО	Программное обеспечение
ППР	Процесс (поддержка) принятия решений
ПрО	Предметная область
РБП	Реинжиниринг бизнес-процессов
СА	Системный анализ
СК	Структура концептов
СИМ	Система имитационного моделирования
СДМС	Система динамического моделирования ситуаций
СМО	Системы массового обслуживания
СППР	Система поддержки принятия решений
ССЛ	Структура слотов

ССП	Структура сценариев поведения
СТА	Структура атрибутов
СТЭП	Система технико-экономического проектирования
СУ	Субподряд
СУБД	Система управления базами данных
СЦ	Сценарий
ТФ	Тип фрейма
ТЭП	Технико-экономическое проектирование
ФК	Фрейм-концепт
ЭС	Экспертная система

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы анализа и динамического моделирования бизнес-процессов (БП) часто сталкиваются с объектами, в которых количество элементов составляет сотни, а то и тысячи. Производственные и бизнес-процессы, организационно-технические системы (ОТС) относятся к процессам преобразования ресурсов. Для моделирования таких объектов требуются все больше вычислительных ресурсов и машинного времени. Спецификой БП и ОТС являются процессы принятия решений. Для формализации моделей лиц, принимающих решения (ЛПР), и сценариев принятия решений в данной работе предлагается использовать аппарат экспертных и мультиагентных систем. В связи с этим является актуальным выявление и использование новых принципов построения, анализа и изменения мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов (МППР) с помощью реинжиниринга бизнес-процесса (РБП) на основе анализа узких мест и процедур сверток/разверток. *Свертка* – процедура уменьшения размерности модели динамического процесса, позволяющая сократить время эксперимента и снизить затраты вычислительных ресурсов за счет выявления и сжатия неиспользуемых или неэффективно используемых элементов (цепочек) процесса. *Развертка* – процедура, увеличивающая размерность модели за счет добавления новых параллельных элементов (цепочек) процесса, решающих задачу повышения пропускной способности системы и эффективности ее функционирования.

Согласно исследованию Конновой Е.П. до недавнего времени подходы к реинжинирингу БП описывали изменения на интуитивном, слабоформализуемом уровне, однако в последние годы появился ряд формальных методик, которые основаны на использовании отдельных математических теорий и направлены на решение фиксированного класса задач (работы Калянова Г.Н. и Тельнова Ю.Ф.). Однако задачи анализа

узких мест и структурного синтеза мультиагентной динамической модели бизнес-процесса на данный момент не решены. Распространенные средства моделирования БП не содержат инструментов реинжиниринга и ориентированы на документирование моделей. Актуальность данной задачи обусловлена также разработкой проблемно-ориентированных программных средств реинжиниринга на основе ситуационных (семиотических) моделей и вовлечением – специалистов-предметников, обладающих знаниями и опытом в конкретной предметной области, но не обладающих навыками программирования.

В связи с этим актуальным является исследование существующих методов анализа и свертки/развертки динамических моделей мультиагентных процессов преобразования ресурсов, разработка метода реинжиниринга модели, процедур свертки/развертки, создание на их основе новой информационной технологии принятия решений, которая должна обеспечить возможность разработчикам самостоятельно применять процедуры свертки/развертки к модели бизнес-процесса с целью выработки эффективных решений и их применения на объекте управления. В становление метода анализа узких мест и реинжиниринга бизнес-процессов существенный вклад внесли работы Александрова Д.В., Борщёва А.В., Вавилова А.А., Вендрова А.М., Виттиха В.А., Городецкого В.И., Гольдштейна С.Л., Доросинского Л.Г., Емельянова С.В., Исидзуки М., Калянова Г.Н., Карпова Ю.Г., Клебанова Б.И., Клейнрока Л., Клыкова Ю.И., Конновой Е.П., Мархасина А.Б., Ойхмана Е.Г., Попова Э.В., Пospelова Д.А., Прицкера А., Рубцова С.В., Скобелева П.О., Советова Б.Я., Тельнова Ю.Ф., Томашевского В., Форрестера Дж., Филипповича А.Ю., Хаммера М., Чампи Д., Чистова В.П., Швецова А.Н., Шеера А.В., Уэно Х., Яковлева С.А., Jennings N.R., Minsky M., Wooldridge M.J..

Цель и задачи исследования. Основной целью данной работы является разработка метода РБП, ориентированного на решение задач анализа узких мест, структурных и параметрических изменений

мультиагентной динамической модели процесса, программная реализация и внедрение на предприятиях новой информационной технологии реинжиниринга и динамического моделирования БП, обеспечивающей высокоуровневый интерфейс при разработке моделей, решении задач, проведении экспериментов и анализе их результатов, а также ориентированной на непрограммирующего пользователя. Для реализации основной цели исследования в работе решаются следующие задачи:

1. Анализ существующих методов и систем динамического моделирования бизнес-процессов.
2. Разработка метода анализа и реинжиниринга модели МППР.
3. Анализ сетевых методов планирования и сравнение с новым.
4. Разработка и программная реализация новой информационной технологии реинжиниринга динамической модели МППР.
5. Применение новой информационной технологии на предприятиях.

Структура работы. Первая глава обосновывает необходимость разработки метода принятия решения и автоматизации задачи РБП, показывает место задачи имитационного моделирования бизнеса в деятельности предприятия.

Во второй главе разработан метод принятия решений задачи РБП на основе имитационного мультиагентного моделирования процессов преобразования ресурсов, аппарата экспертных систем, операционного анализа вероятностных сетей и метода критического пути.

В третьей главе приведена программная реализация метода.

В четвертой главе показаны примеры решения практических задач для строительного холдинга CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING WANGXIANG.LTD).

Авторы благодарны В.С. Каневу, А.Б. Мархасину, С.В. Поршневу, Б.В. Соколову и А.Ю. Филипповичу за ценные советы и замечания при обсуждении работы.

1. БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Применение информационных систем и моделирования в управлении процессами предприятий

Существует довольно широкий спектр систем, методик и технологий, облегчающих решение задачи управления, реорганизации предприятия, проектирования корпоративных информационных систем (КИС). Модель помогает перейти от понятий бизнеса к понятиям информационных технологий и создать проект будущей КИС. Руководитель ежедневно сталкивается с данными задачами и чаще всего принимает решения, опираясь на интуицию. Основным средством поддержки выработки решений в повседневной деятельности менеджеров должно стать программное обеспечение для моделирования организационных систем и их элементов.

Существует две основных школы подготовки менеджеров: эвристическая и научная. Научное направление рассматривает менеджера как бизнес-конструктора, опирающегося на определенный математический аппарат для поиска решений, построения проекта организации [61].

Наиболее часто модель используется [103-104] для описания предприятия как средство понимания предприятия и средство коммуникации между участниками процесса, для выполнения анализа предприятия или его частей, для создания и анализа новых процессов на предприятии и проектных альтернатив, для стратегического и тактического управления. С появлением различных методологий улучшения предприятия и, в частности, реинжиниринга, модель стала активно использоваться для создания и анализа вариантов улучшения предприятия. Прежде всего это касается поиска альтернатив улучшения процессов предприятия.

В литературе [30] предприятие представляется в виде пирамиды, состоящей из двух уровней управления (стратегический и оперативно-тактический) и объекта управления (рабочие процессы). На высшем уровне реализуется стратегическое управление, определяется миссия, цели управления, долгосрочные планы, стратегия их реализации. Средний – уровень оперативно-тактического управления. Здесь составляются тактические планы, осуществляется контроль за их выполнением, отслеживаются ресурсы и средства.

Для каждого уровня существуют свои информационные средства поддержки принятия решений (СППР). На каждом уровне используются средства [30]:

1. Сбора, получения необходимых исходных данных.
2. Анализа и прогнозирования существующих и будущих ситуаций: выборка интересующей информации и представление ее в удобном для анализа виде; расчет и представление показателей деятельности предприятия; прогноз развития ситуации, показателей деятельности на основе имеющихся данных; анализ зависимости одних показателей деятельности от других.
3. Ввода возможных вариантов решений и анализ их последствий по совершенствованию структуры и процессов предприятия. Прогноз результатов деятельности в результате совершенствования.
4. Генерации оптимальных решений.
5. Консолидации данных.

Модели часто вводят в состав ситуационных центров руководителей организаций и предприятий [78].

С точки зрения научного направления [31, 44, 61, 86] для оценок большинства критериев деятельности предприятия и принимаемых решений, часто единственным инструментом является метод имитационного моделирования (ИМ), основанный на аппарате экспертных систем (ЭС). Во-первых, он позволяет визуализировать деятельность

предприятия. Во-вторых, имитация позволяет исследовать необходимые для анализа процесса характеристики - стоимость, длительность и др. Динамический анализ процессов должен стать базой для принятия обоснованных решений, когда велико число переменных, трудоемок, а зачастую и невозможен, математический анализ зависимостей, высок уровень неопределенности имитируемых ситуаций.

Популярности распространения имитационных моделей способствовали коммерческие успехи AnyLogic, Arena, Ithink, ReThink, Simio успешно используемых в качестве инструмента ИМ проблем в банках, промышленных и торговых фирмах, государственных учреждениях и страховых компаниях [86].

Имитационная модель (рис. 1.1) является частью контура управления рабочими процессами и помогает в принятии управленческих решений. При этом модель предприятия используется для получения различных прогнозов состояния предприятия в будущем. Возможны два вида прогнозирования:

- 1) прогноз развития состояния предприятия на будущий период;
- 2) прогноз последствий принятия управленческих решений.

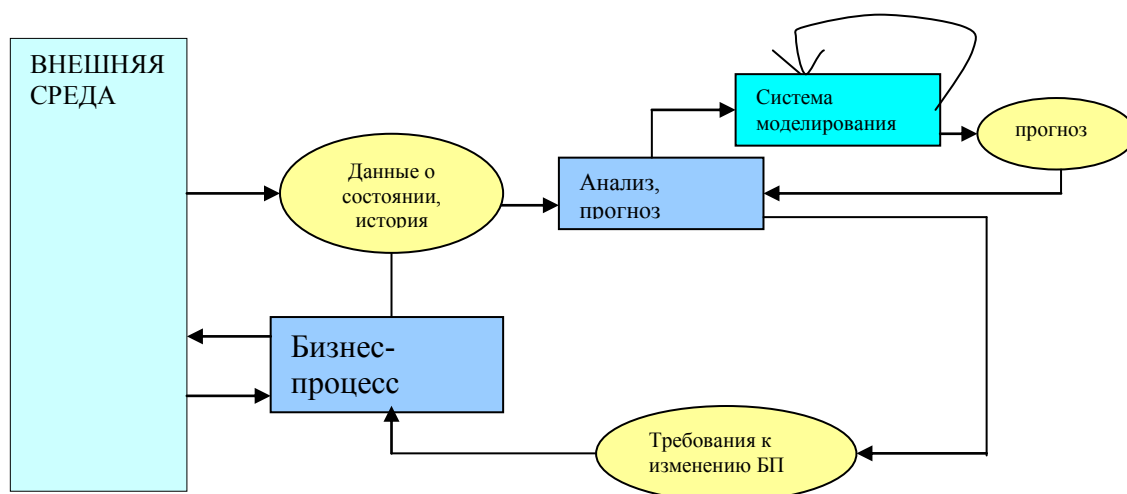


Рис. 1.1. Место системы ИМ в контуре управления.

В первом случае элементы имитационной модели должны быть соединены со своими реальными аналогами или КИС, отражающей текущее состояние предприятия. Среда имитирования может выдавать сообщения и предупреждения о наступлении тех или иных событий в модели. Может производить ИМ на некоторое время вперед на основе реального начального состояния, производя прогнозирование развития процессов в системе. Таким образом, имитационное моделирование используется, как для проверки гипотез о рациональности стратегии и тактики поведения руководства компании, так и для прогнозирования финансового состояния компании.

Описание задачи управления и моделирования процессами предприятия

В разделе рассматривается развитие понятия ситуации и ситуационный подход в управлении.

Будем придерживаться следующего определения ситуации, данного в работе [78, с. 34]: *Ситуация системы есть оценка (анализ, обобщение) совокупности характеристик объектов и связей между ними, которые состоят из постоянных и причинно-следственных отношений, зависящих от произошедших событий и протекающих процессов.*

Управление предприятием осуществляется на основе данных, поступающих из внешней среды и от производственных процессов. Все данные, используемые при принятии решений, можно разбить на три группы (рис. 1.2):

- первичные данные – непосредственно измеряемые, вводимые из первичных источников (документов) или получаемые с технологического оборудования;
- расчетные базовые показатели – объемные показатели (складские ресурсы, незавершенное производство, кредиторская и дебиторская задолженность) для оперативного управления;
- интегральные показатели - абсолютные и относительные (вычисляемые на основе базовых и первичных) показатели

(коэффициенты ликвидности, рентабельности, оборачиваемости капитала), по которым принимаются стратегические решения.

Показатели не являются статическими величинами, а изменяются во времени под воздействием процессов, протекающих на предприятии.

В соответствии с рис. 1.2 руководство предприятия получает возможность отслеживать не только сами показатели, но и процессы, которые оказывают влияния на эти показатели. Это дает возможность определить узкие места в системе и своевременно принять необходимое управляющее решение.

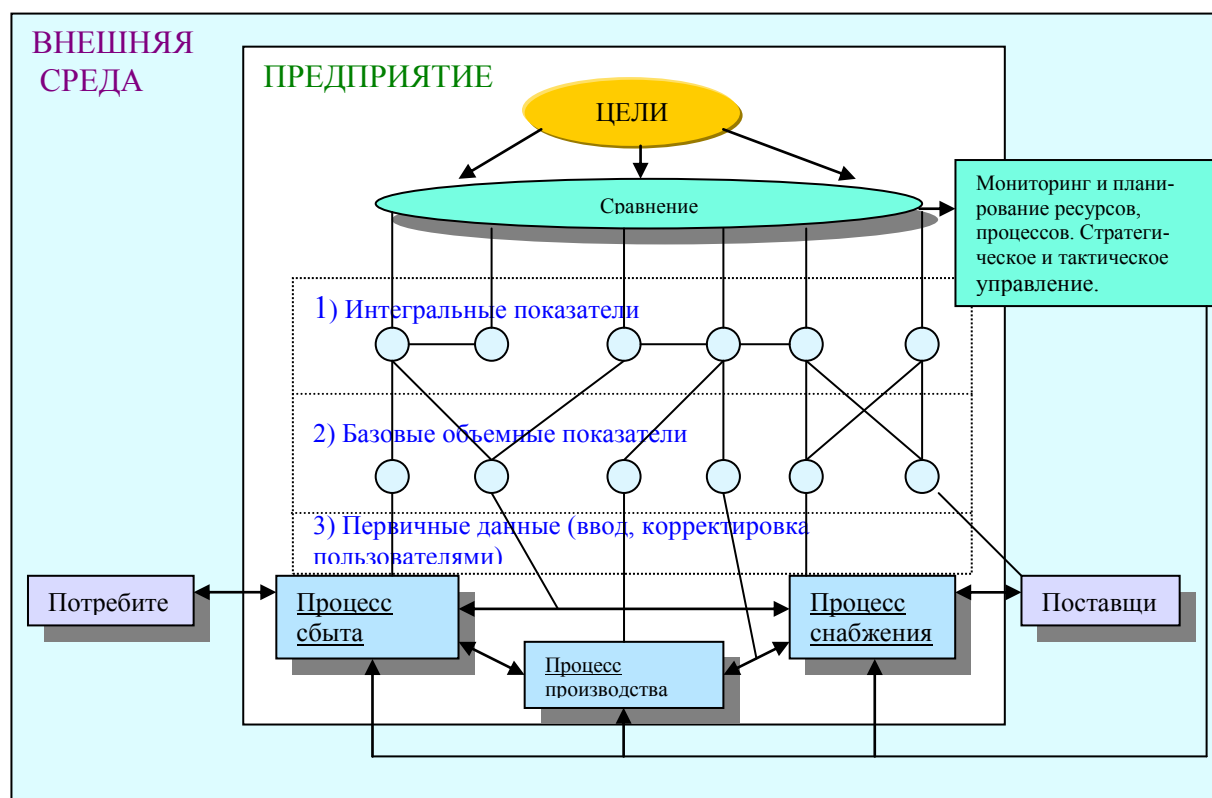


Рис. 1.2. Схема управления предприятием на основе показателей

ИМ позволяет строить динамические модели предприятия и, как следствие, достаточно уверенно оценивать:

- перспективы предприятия при сохранении продуктовой стратегии, внутренней организации и способов взаимодействия с внешней средой;

- последствия изменений состава продуктов и услуг (продуктовой стратегии), географии и видов потребителей и поставщиков;
- последствия изменений внутренней организации предприятия (внутренних БП, организационной структуры, квалификации персонала, средств производства);
- влияние изменений внешних факторов на показатели (оценки деятельности).

Используя динамические модели можно анализировать различные варианты поведения внешней среды и организации деятельности предприятия и выбирать эффективные решения. Следует отметить, что в условиях быстроменяющейся внешней среды задача моделирования бизнес-процессов предприятия практически решается постоянно, что, при большой размерности указанной задачи, делает невозможным получение постоянно (во времени) эффективных ее решений (если используется только интеллект руководителя). Из вышеизложенного следует необходимость автоматизации решения поставленной задачи или, другими словами, автоматизации моделирования бизнес-процессов предприятия.

Общая проблематика оптимизации имитационного моделирования включает ряд аспектов [52, с. 82]:

- методологический, связанный с созданием новых концепций формализации и структуризации моделируемых систем, совершенствованием методологических основ системного моделирования, отработкой подходов к созданию стратифицированных описаний моделируемых систем, построением систем принятия решений в области комплексных проектов по моделированию;
- математический, связанный с широким использованием в имитационном моделировании вообще, и в процедурах вычислительного эксперимента в частности, статистических методов самого различного назначения, математических методов оптимизации и принятия решения, методов искусственного интеллекта;

- технологический аспект, связанный с разработкой и применением программного обеспечения ИМ и принятия решений.

Данная работа посвящена ситуационному моделированию бизнес-процессов и организационно-технических систем.

1.2. Реинжиниринг бизнес-процессов

Бизнес-процесс (БП) может состоять из одной или множества операций. В [61] отмечается, что в исследовании операций приемы управления отождествляются с понятием "операция" как системой объединенных общим замыслом действий, осуществляемых с ресурсом. Понятие ресурс при этом имеет самое широкое толкование, а сам ресурс является неоднородным (информация, время, деньги, материалы, оборудование, интеллектуальная собственность, географические и пространственные границы операции, психическая энергия, знания, навыки, умения и т.д.).

Согласно определению М. Хаммера и Д. Чампи [80] реинжиниринг бизнес-процессов рассматривается как фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения коренных улучшений в основных показателях деятельности предприятия. Целью реинжиниринга бизнес-процессов (РБП) является реорганизация материальных, финансовых и информационных потоков, направленная на упрощение организационной структуры, перераспределение и минимизацию использования ресурсов, сокращение сроков реализации потребностей клиентов и повышения качества их обслуживания.

РБП предполагает решение следующих задач:

1. Анализ существующего бизнес-процесса предприятия.
2. Анализ узких мест в организации БП, связанных с перегрузкой ресурсов, образованием очередей или, наоборот, недогрузкой ресурсов;

3. Реорганизация (синтез) БП с целью устранения узких мест и достижения заданных критериев эффективности. Задача анализа узких мест в организации БП решается с помощью методов статического или динамического моделирования. Статическое моделирование подразумевает описание и анализ структуры БП, а также проведение стоимостного анализа функций и выявление наиболее трудоемких и затратных функций, функций, не вносящих вклад в образование прибыли, и функций с низким коэффициентом использования ресурсов. Динамическое имитационное моделирование (ИМ) позволяет генерировать выполнение множества операций бизнес-процесса в течение длительного времени и проводить сбор статистики функционирования операций с выявлением узких мест их организации. В основе проведения РБП по данным статического моделирования лежит эвристический подход, требующий высокой квалификации и опыта аналитика [4, с.14]. ***Использование ИМ и аппарата экспертных систем в РБП позволит формализовать правила реинжиниринга и варианты их применения аналитиком.***

Применение на практике подходов РБП как организационно-экономического инструмента управления имеет следующие ограничения:

- Требования по высокой квалификации аналитика и его хорошей ориентации в предметной области (опыт выполнения проектов реинжиниринга в данной предметной области) [4, с.14];

- Отсутствие алгоритмов (правил) проведения реинжиниринга. Существующие методики РБП в первую очередь затрагивают изменения организационной структуры, перераспределения обязанностей, повышения ответственности и мотивации сотрудников, но не дают ответа по влиянию данных изменений на деятельность предприятия и параметры БП;

- Невозможность синтеза решений РБП и проверки выработанных решений на реальном объекте управления [4, с.14]. В данной работе для этого предлагается использовать имитационное моделирование;

- Отсутствие автоматизированных средств синтеза моделей бизнес-процессов.

Рассмотрение социальных, экономических и организационно-технических систем с точки зрения процессов преобразования ресурсов

В разделе рассматривается предметная область процессов преобразования ресурсов, охватывающая такие классы процессов, как производственные, технологические, организационные, бизнес-процессы и цепочки поставок, и рассматривается возможность применения ситуационного подхода к данной предметной области.

Под процессом преобразования ресурсов понимается непрерывный или дискретный процесс преобразования входа (ресурсов, необходимых для выполнения процесса) в выход (продуктов – результатов выполнения процесса). Элемент (компонент) такого процесса преобразования ресурсов или весь процесс представлен в виде структуры, включающей: вход, условие запуска, преобразование, средства преобразования, выход [12, 15-16, 96].

В процессе преобразования ресурсов обычно происходит уменьшение объема входа и увеличение объема выхода. В момент выполнения условия запуска уменьшается входной ресурс и захватываются средства. В момент окончания преобразования происходит увеличение выходного ресурса и освобождение средств. Таким образом, процесс преобразования ресурсов позволяет описывать большинство окружающих нас процессов. Данный подход лег в основу теории динамического моделирования процессов преобразования ресурсов, успешно используемой авторами для решения задач управления производственными и бизнес-процессами [12-13, 15-16, 96].

С точки зрения ситуационного управления [46-47, 58-59] процесс преобразования ресурсов в графическом виде будем представлять следующим образом (рис. 1.3) [10].

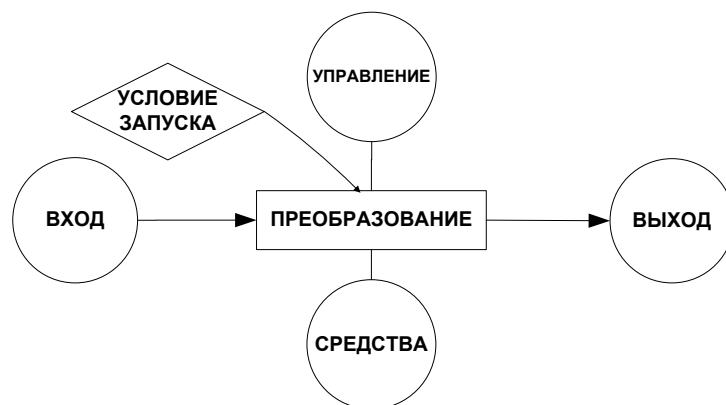


Рис. 1.3. Ситуационное представление процесса преобразования ресурсов [10]

Под элементом «управление» процесса преобразования ресурсов будем понимать набор управляющих воздействий (команд). Условие запуска определяет момент запуска процесса преобразования ресурсов на основании: состояния процесса преобразования, входных и выходных ресурсов, стартовых (запускающих преобразование) команд управления, средств, с помощью которых осуществляется преобразование (далее «средств») и других событий, возникающих во внешней среде процесса. В момент запуска определяется время выполнения преобразования на основании параметров команды управления и имеющихся ресурсных ограничений [10].

Такое представление наиболее подходит для целей моделирования и соответствует методологии функционального моделирования IDEF0 [105], а также позволяет отображать в совокупности взаимосвязи между процессами. Процессы вместе с их взаимосвязями представляют собой сеть процессов предприятия.

У любого процесса есть границы, определяемые начальной стадией (вход) и конечной (выход). Часто *вход процесса* рассматривают как его ресурсы: поставляемые материалы и необходимая информация. *Выходом* являются результаты преобразования – готовый продукт, ценность и стоимость которого определит спрос потребителя на него. При этом под термином *выделение процессов* будем понимать определение его границ.

Анализ различных процессов преобразования ресурсов (производственных, организационно-технических и бизнес-процессов (БП)) позволяет выделить их особенности [10]:

1. Объекты *бизнес-систем* и *организационно-технических систем (ОТС)* характеризуются сложностью структуры и алгоритмов поведения, многопараметричностью, что приводит к сложности их моделей и требует при разработке построения иерархических модульных конструкций, а также использования описания внутрисистемных процессов [69].

2. На самых нижних уровнях процесс может быть представлен с точностью до элементарных операций преобразования ресурсов [39, 74].

3. В бизнес-процессах и ОТС оказывается довольно сложно оценить параметры потоков информации, установить определенные и нормированные структуры данных для принятия решений. Для систем такого типа характерно:

- Вероятностное поведение, вызываемое воздействием множества объективных и субъективных факторов;
- Высокая изменчивость источников и адресатов информации, номенклатуры и форм представления документов;
- Слабая формализованность маршрутов и методов обработки информации внутри организации;
- Недостаток квалифицированных специалистов в области *информационных технологий (ИТ)* [83].

Отсюда вытекает потребность в интеллектуальной системе поддержки принятия решений (ППР), которая бы взяла на себя все формализованные функции исполнителей и оказала существенную поддержку при решении трудноформализуемых задач. Организационные задачи во многих случаях не имеют точных алгоритмов решения, а разрешаются в рамках некоторых сценариев, которые в общих чертах хорошо известны исполнителям, но в каждой конкретной ситуации могут изменяться. Такие сценарии весьма трудно описать алгоритмическими моделями. Более адекватными

оказываются модели представления знаний, позволяющие менять правила поведения и осуществлять логические выводы на основании содержания базы знаний (БЗ) [83].

Автоматизация РБП с использованием методов ИМ и искусственного интеллекта (аппарата экспертных систем и мультиагентных технологий) позволит: 1) снизить требования к опыту аналитика по проведению анализа и синтеза систем за счет использования формализованного опыта экспертов и применения методов математического моделирования; 2) провести оценку выработанных решений реинжиниринга и выбор наиболее эффективного решения на модели объекта управления (модели бизнес-процесса и/или ОТС).

1.3. Мультиагентные процессы преобразования ресурсов

1.3.1. Имитационное моделирование и мультиагентный подход

Имитационной моделью называется специальный программный комплекс, который позволяет имитировать деятельность какого-либо сложного объекта. Он запускает в компьютере параллельные взаимодействующие вычислительные процессы, которые являются по своим временным параметрам (с точностью до масштабов времени и пространства) аналогами исследуемых. В странах, занимающих лидирующее положение в создании новых компьютерных систем и технологий, научное направление Computer Science использует именно такую трактовку имитационного моделирования [37].

Согласно Лычкиной Н.Н. [52] при ИМ реализуется человеко-машинная процедура, эксперт (ЛПР) активно участвует в процессе принятия решения: детализирует проблему и модель, осуществляет генерацию альтернатив, постановку направленного вычислительного эксперимента на имитационной модели, выбор и ранжирование критериев,

а также оценку результатов сценарных расчетов, т.е. технология имитационного моделирования позволяет учитывать субъективные предпочтения эксперта и его опыт в процессе принятия решений. Компьютер только упрощает, помогает эксперту в выработке решения, а не заменяет его, что является необходимой установкой в СППР.

3. Кроме того, имитационная модель помогает осуществить динамический анализ возможных сценариев развития.

Для решения задачи построения моделей ЛПР на разных уровнях сложной системы, целесообразно использовать теорию мультиагентных систем, новое направление развития искусственного интеллекта, информационно-телекоммуникационных технологий и ИМ. Ниже приводится краткий обзор результатов данного направления.

Понятие *агент* соответствует аппаратно или программно реализованной сущности, которая способна действовать в интересах достижения целей, поставленных перед ней владельцем и/или пользователем, и которая обладает определенными интеллектуальными способностями [21, 83, 106, 113]. В дальнейшем будем придерживаться данного определения.

В [106] обсуждается пример применения мультиагентной системы (МАС) для планирования работы гибкой производственной системы. К преимуществам обсуждаемой мультиагентной системы планирования отнесены следующие: 1) формализация точек принятия решений (сценариев обработки отдельных ситуаций) в виде агентов, что по сути своей относится к этапу формализации знаний; 2) планировщик "встраивается" динамично (работает в реальном времени) посредством взаимодействий (переговоров) между отдельными элементами МАС и тем самым готов изменять план в случае задержек или неожиданных (внештатных) ситуаций; 3) сеть агентов, связанная отношениями самостоятельно координирует свои действия.

Дополнительное преимущество от мультиагентного планирования - возможность автоматического информирования участников процесса об изменениях на объекте управления, что дает прозрачность управления. В процессе разработки и внедрения МАС планирования происходит формализация знаний о предметной области и автоматизируется процесс принятия решений, тем самым облегчается деятельность, связанная с принятием решений [14].

В России значительные результаты в исследовании МАС получены В.И.Городецким, применение данных результатов иллюстрируется на примерах решения следующих задач [32-36, 101-102]:

- управление взаимодействием в P2P-сетях;
- автономное управление воздушным движением;
- управление ресурсами грид;
- самоконфигурации оверлейных сетей;
- автономные операции подводных роботов.

К наиболее значительным практическим результатам применения МАС можно отнести развитие и применение на практике аппарата сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) [67-68, 107, 112]. Данный подход придерживается "классического" понимания мультиагентной системы и ориентирован на решение задач в вычислительных сетях [14].

Аппарат ПВ-сетей, разработанный В.А.Виттихом, П.О.Скобелевым, Г.А.Ржевским, программно реализован в виде технологии MAGENTA, которая нашла применение в семействе прикладных интеллектуальных систем планирования для следующих объектов [67-68, 107, 112]: предприятия, управляющего океанским танкерным флотом; транспортного предприятия, занимающегося перевозками грузов; организации, деятельность которой связана с управлением проектами.

Интеллектуальная мультиагентная система представляет собой множество интеллектуальных агентов (ИА), распределенных в сети, которые мигрируют по ней в поисках релевантных данных, знаний, процедур и кооперируются для

достижения поставленных перед ними целей. В МАС множество автономных агентов действуют в интересах различных пользователей и взаимодействуют между собой в процессе решения определенных задач. Примерами таких задач являются: управление информационными потоками и сетями, управление воздушным движением, поиск информации в сети Интернет, электронная коммерция, обучение, электронные библиотеки, коллективное принятие многокритериальных управленческих решений и другие [21].

В рамках данной работы ставится и решается задача автоматизации этапа реинжиниринга связанного с анализом и синтезом модели бизнес-процесса на основе применения следующих математических аппаратов: имитационного моделирования (дискретных процессов преобразования ресурсов), экспертных систем, ситуационного и мультиагентного моделирования.

1.3.2. Динамическая модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР)

Мультиагентный подход также нашел свое развитие в имитационном моделировании. Так, система ИМ AnyLogic поддерживает моделирование реактивных агентов. Для формализации поведения агентов в AnyLogic используются диаграммы состояний (State Chart) расширения UML-RT.

В контексте ИМ происходит трансформация понятия агента в направлении уменьшения значимости свойств коммуникации (на уровне сетевых протоколов) и возможности перемещения по сети в сторону интеллектуальности (учет большего объема данных и знаний, сложности реализации машины логического вывода – как это развивается в системах G2 и BPsim) и социальности (моделирования социального поведения, внутренних убеждений, намерений и целей агентов) [14].

Динамическая модель процесса преобразования ресурсов [12-13] была разработана на основе следующих математических схем: сетей Петри,

систем массового обслуживания, моделей системной динамики, и расширена интеллектуальными агентами [10] и коалициями [38].

Модель МППР [10] основана на интеграции имитационного, экспертного, ситуационного и мультиагентного моделирования. Основными объектами модели МППР являются (рис. 1.4): операции (*Op*); ресурсы (*Res*); команды управления (*U*); средства (*Mech*); процессы (*Pr*); источники (*Sender*) ресурсов; приемники ресурсов (*Receiver*); перекрестки (*Junction*); параметры (*P*); агенты (*Agent*) или модели лиц, принимающих решения (ЛПР). Описание причинно-следственных связей между элементами преобразования и ресурсами задается объектом «связь» (*Relation*).

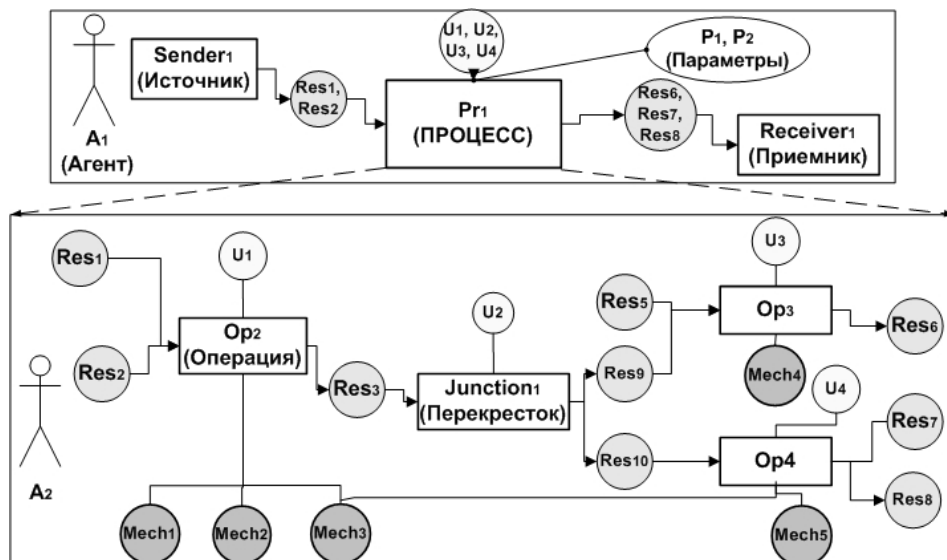


Рис. 1.4. Объекты мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов [10]

Существование агентов предполагает наличие ситуаций (*Situation*) и решений (*Decision*). Модель МППР представлена в виде [10]:

$$M = \langle Name, desc, O, \{Relation\}, A_{self} \rangle,$$

где *Name* - имя модели;

desc - описание модели;

O – объекты (элементы), ресурсы, средства, преобразователи, сигналы, заявки, цели, параметры, агенты, сообщения;

Relation – связи;

Aself – собственные атрибуты модели.

Модель ИА представлена в следующем виде [10]:

$$Agent = \langle Name, G_Ag, prior, KB_Ag, M_In, M_Out, SPA, Control_O, AU, AD \rangle,$$

где *Name* – имя агента;

G_Ag – цели агента;

prior – приоритет агента;

KB_Ag – база знаний агента;

M_In – количество входящих сообщений;

M_Out – количество исходящих сообщений;

SPA – сценарии поведения;

Control_O – множество управляемых объектов процесса преобразования ресурсов;

AU – множество агентов «начальников»;

AD – множество агентов подчиненных.

Агенты управляют объектами процесса преобразования. Агент выполняет следующие действия [10]:

- 1) анализирует внешние параметры (текущую ситуацию);
- 2) диагностирует ситуацию, обращается к БЗ. В случае определения соответствующей ситуации агент пытается найти решение (сценарий действий) в БЗ или выработать его самостоятельно;
- 3) вырабатывает (принимает) решение;
- 4) определяет (перепределяет) цели;
- 5) контролирует достижение целей;
- 6) делегирует цели своим и чужим объектам процесса преобразования, а также другим агентам;
- 7) обменивается сообщениями.

Для построения ядра моделирующей системы был использован аппарат продукционных систем. Определена структура продукционной системы МППР в виде:

$$PS = \langle Rps, Bps, Ips \rangle,$$

где $Rps = \{Res(t)\} \cup \{Mech(t)\} \cup \{U(t)\} \cup \{G(t)\}$ – текущее состояние ресурсов, средств, команд управления, целей (рабочая память);

Bps – множество правил преобразования ресурсов и действий агентов (база знаний);

Ips – машина вывода, состоящая из планировщика и машины логического вывода по БЗ агентов.

Алгоритм имитатора состоит из следующих основных этапов: определения текущего момента времени $SysTime = \min(T_j)$, $j \in RULE$; обработки действий агентов; формирования очереди правил преобразования; выполнения правил преобразования и изменения состояния рабочей памяти. Для диагностирования ситуаций и выработки команд управления имитатор обращается к модулю ЭС.

Рассмотрение бизнес-процессов предприятий и ОТС в виде МППР позволяет также уделить внимание следующим элементам:

- моделям ЛПР, их знаниям, моделям поведения и принятия решений;
- динамической составляющей процессов;
- рассмотрению отношений миссии, видения, стратегий, целей, ключевых показателей деятельности (параметров) и мероприятий (процессов) с помощью методики стратегического управления – системы сбалансированных показателей [10].

Модель МППР [10] разработана ее авторами на основе расширения модели процесса преобразования ресурсов (ППР) интеллектуальными агентами и предназначена для моделирования организационно-технических и бизнес-процессов и поддержки принятия управленческих решений. Агент модели МППР имеет гибридную архитектуру InteRRap [19], представленную на рис. 1.5.

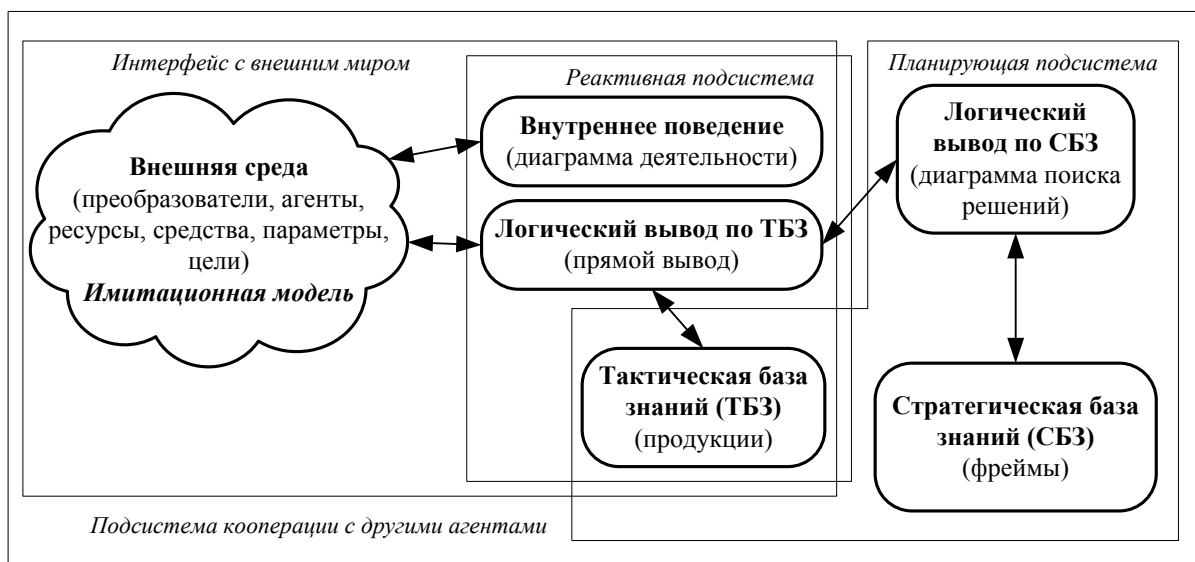


Рис. 1.5. Гибридная архитектура агента МППР

1.3.3. Процессы преобразования ресурсов и их классификация

Применительно к целям моделирования МППР, все ресурсы предприятия можно разделить на следующие типы:

1. *Время.* Это ресурс времени, в течении которого должно быть осуществлено преобразование заданного ресурса.

2. *Оборудование.* Этот тип ресурсов характеризуется тем, что отдельно взятая единица такого ресурса в один момент времени может быть занята выполнением либо только одной операцией, либо ограниченным количеством операций. Сюда можно отнести различное оборудование, станки, вычислительную технику, транспортные средства, производственные площади и т.п.

3. *Материалы.* Этот тип ресурсов характеризуется количественными характеристиками и при его преобразовании он трансформируется в выходной продукт полностью, либо в его составе.

4. *Энергоресурсы.* Этот тип ресурсов также характеризуется количественными характеристиками, но при его использовании он безвозвратно расходуется.

5. *Финансовые ресурсы.* Это совокупность фондов денежных средств, находящихся в распоряжении хозяйствующего субъекта – предприятия, т.е. это деньги, обслуживающие финансовые отношения. Направления использования финансовых ресурсов: выполнение финансовых обязательств, создание фонда материального стимулирования, создание фондов социального и производственного развития, инвестиции, благотворительность.

6. *Персонал.* Это человеческие ресурсы, их особенность заключается в том, что один человек может участвовать в нескольких процессах одновременно.

7. *Информация.* Это сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах независимо от формы их представления.

В многочисленных публикациях предлагаются различные способы классификации процессов. Взяв за основу четырехуровневую систему классификации процессов [49], рассмотрим классификацию процессов преобразования ресурсов:

1) *По назначению* (степени их влияния на получение добавленной ценности):

- *бизнес-процессы*, непосредственным результатом которых является производство продукции (оказание услуг), т.е. они предназначены для удовлетворения потребностей внешних потребителей (основные процессы, производственные процессы, процессы жизненного цикла изделий (продукции), базовые процессы, главные процессы);
- *обеспечивающие процессы*, предназначенные для обеспечения ресурсами других процессов (обеспечение ресурсами, менеджмент ресурсов, поддерживающие процессы, второстепенные процессы);
- *процессы управления* – это особые информационные процессы, результатом которых является повышение результативности и эффективности бизнес-процессов и обеспечивающих процессов

(организационно-управленческие процессы, процессы управленческой деятельности руководства).

Часто обеспечивающие процессы и процессы менеджмента объединяют в класс *вспомогательных процессов*. В качестве базовой схемы для выделения бизнес-процессов обычно пользуются схемой жизненного цикла продукции.

2) *По структуре* процессы подразделяются на горизонтальные и вертикальные.

- *горизонтальные*. К ним относят бизнес-процессы, так как они пронизывают всю деятельность предприятия по горизонтали.
- *вертикальные*. К ним относят обеспечивающие процессы и процессы управления, так как они отражают деятельность предприятия по вертикали в соответствии с его структурой и формой взаимодействия руководителей структурных подразделений.

3) *По уровням*:

- *Последовательные*;
- *Параллельные*.

4) *По степени влияния на достижение целей предприятия*. Как показано в [63] не все процессы оказывают одинаковое влияние на достижение целей предприятия. Выделим в данный класс следующие МППР:

- *Ключевые МППР*. Ключевые процессы, оказывают наибольшее (решающее) воздействие на достижение главных целей предприятия. Эти процессы могут быть определены в зависимости от степени их влияния на удовлетворенность потребителей выходных ресурсов, расширение рынка сбыта, уменьшение издержек и др. Данные ППР отражают внешние по отношению к предприятию воздействия;
- *Критические МППР*. К данному классу относятся процессы, ненадлежащая организация которых или несоблюдение требований к их выполнению могут представлять фактическую или потенциальную

опасность для жизнедеятельности предприятия. Такие процессы должны незамедлительно корректироваться или улучшаться. В разряд критических может попасть любой процесс. Выявление критических процессов осуществляется в ходе текущей деятельности или по результатам внутренних аудитов. Критические МППР являются отражением только внутренних воздействий.

5) *По взаимодействию.* Данный класс характеризует взаимосвязь между входами и выходами процессов преобразования ресурсов. Процессы независимо от их вида могут быть *взаимосвязанными* или *процессами со слабыми связями*. Два процесса являются взаимосвязанными, если между ними поддерживаются с помощью системы управления процессами какого-либо рода связи: функциональные, пространственно-временные, управляющие, информационные и т. д. На основе классификации процессов, описанных в [13, 60] рассмотрим классификацию *взаимосвязанных* процессов применительно и с учетом особенностей процессов преобразования ресурсов:

- *Взаимосвязь по управлению.* Выход процесса *A* является управлением для другого процесса *B* (рис. 1.6). При этом процесс *A* является процессом менеджмента по отношению к процессу *B*.

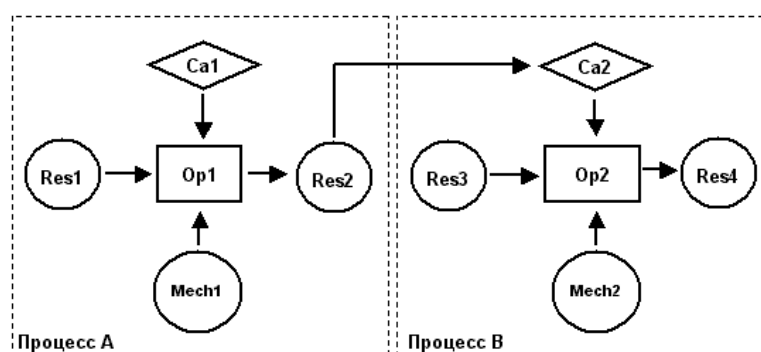


Рис. 1.6. Взаимосвязь процесса по управлению.

- *Взаимосвязь по входу.* Выход одного процесса *A* является входом для другого процесса *B* (рис.1.7). В этом случае процессы *A* и *B* являются последовательными и относятся к одной и той же категории.

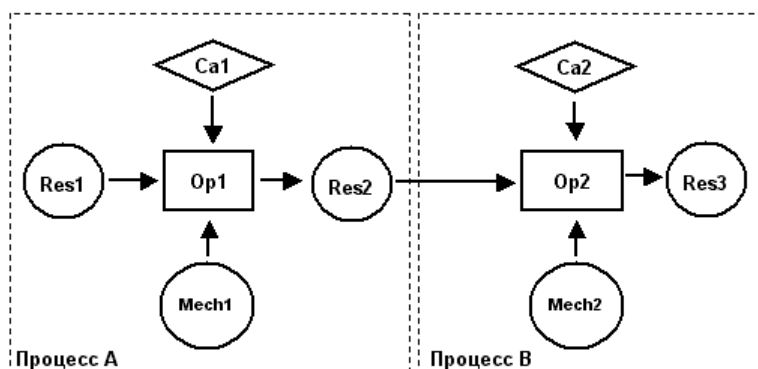


Рис. 1.7. Взаимосвязь процесса по входу.

- *Обратная связь по управлению.* Выходы из одного процесса *A* влияют на выполнение другого процесса *B*, выполнение которого в свою очередь влияет на выполнение исходного процесса *A* (рис.1.8). В этом случае процесс *B* относится к категории процессов измерения, анализа и улучшения.

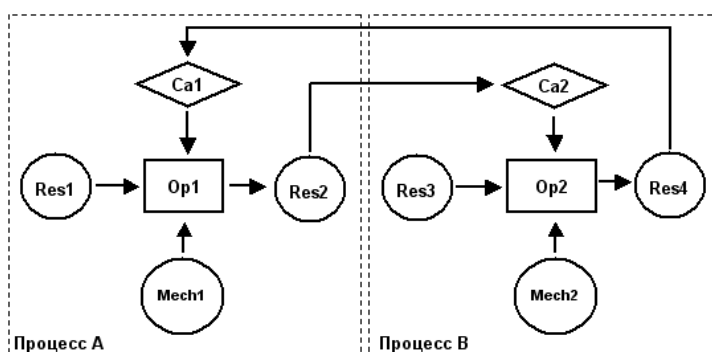


Рис. 1.8. Взаимосвязь процесса по управлению.

- *Обратная связь по входу.* Выход из одного процесса *A* является входом для другого процесса *B*, выход которого является для процесса *A* входом (рис.1.9).

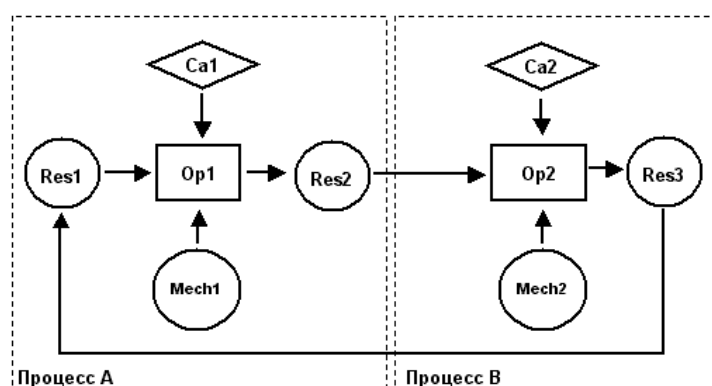


Рис. 1.9. Взаимосвязь процесса по входу.

- *Взаимосвязь «выход-средство»*. Выход одного процесса *A* является средством преобразования ресурсов для другого процесса *B* (рис.1.10). В этом случае процесс *A* относится к категории управления ресурсами.

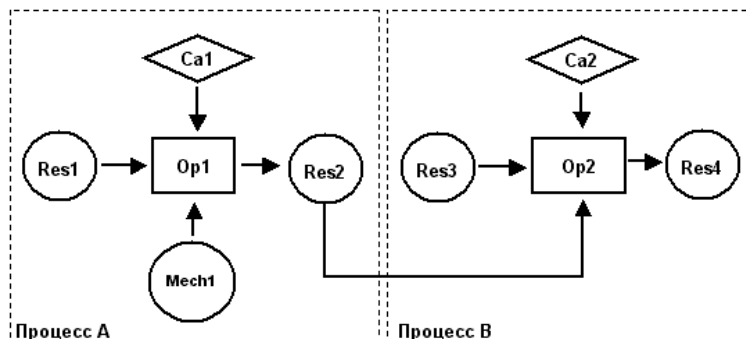


Рис. 1.10. Взаимосвязь процесса «выход-средство».

Процессы со слабыми связями характеризуются отсутствием явных связей. При этом они могут быть связаны косвенно и определенным образом влиять на развитие друг друга.

Классификация процессов преобразования ресурсов, т.е. деление их на группы по заранее избранным признакам, является важным этапом анализа предметной области.

Классификация процессов преобразования ресурсов преследует следующие цели:

1. Упорядочить структуру разрабатываемой модели.
2. Более чётко определить взаимосвязи между элементами.
3. Учет и управление ситуациями, которые складываются при развитии процесса преобразования ресурсов.
4. Возможность корректного представления имитационной модели бизнес-процесса в виде элементов процесса преобразования ресурсов.

Классификация процессов преобразования ресурсов помогает также выявить процессы и их взаимосвязи, наиболее подходящие для анализа модели и проведения ее реинжиниринга.

Из данного раздела вытекают следующие требования к информационным технологиям поддержки принятия решений:

- отсутствие точных алгоритмов решения организационных задач обосновывает применение БЗ и аппарата экспертных систем (ЭС) для накопления опыта решения задач и использования этих знаний (логического вывода) при диагностировании ситуаций и поиске решений;

- на каждом уровне и ветви модели сложной системы управления может находиться модель лица, принимающего решения (ЛПР, интеллектуального агента);

- доступ к понятиям предметной области (к уровню детализации их свойств) необходимо обеспечивать с учетом уровня знаний и компетентности ЛПР, т.е. привязки к уровню и ветви организационного управления;

- требования к модели ЛПР: наличие знаний; сценарии поведения; постановка целей; участие в обмене информацией (сообщениями); механизм управления некоторым множеством элементов модели;

- наличие механизма маршрутизации сообщений между ЛПР.

1.4. Понятие и свойства процедур свертки, развертки модели

Свертки – процедуры уменьшения размерности модели динамического процесса. Под *сверткой* будем понимать процедуру структурного и/или параметрического синтеза модели процессов преобразования ресурсов, которая ведет к уменьшению структуры и/или параметров модели [9, 11, 17]. Разработка алгоритмов сверток является актуальной научно-практической задачей, решение которой приводит к сокращению времени эксперимента, уменьшению вычислительных ресурсов. Объекты, к которым можно применять процедуры свертки (элементы модели, блоки модели), образуют так называемую *среду*

исполнения. Исходная информация, на основе которой происходит осуществление процедур свертки, формирует *область применения свертки*.

С целью задачи реинжиниринга бизнес-процесса – поиска наиболее эффективной модели, наравне с процедурой свертки, должна также применяться процедура *развертки* модели. Процедура *развертки* модели (обратная процедура свертки) – процедура увеличения размерности модели динамического процесса.

Новизна постановки понятий свертки / развертки состоит в применении не к графу алгоритма для параллельной вычислительной системы [28], а к имитационной модели МППР. Причем речь идет не о задаче разработки эффективного машинного алгоритма для конкретного графа алгоритма, а о задаче поиска эффективной организации произвольного бизнес-процесса, путем синтеза структурного и параметрического мультиагентной модели БП. Спецификой нового применения процедур свертки / развертки также является их использование для синтеза структуры программных агентов (элементов баз знаний и машин логического вывода).

Несмотря на то, что развертка модели ведет к увеличению размерности модели, а тем самым к увеличению времени эксперимента, применение данной процедуры может привести к улучшению характеристик системы (бизнес-процесса, ОТС).

Сформулируем характерные свойства сверток/разверток:

1. *Итеративность* – процедура свертки/развертки должна осуществляться посредством последовательного выполнения простых действий R_i . Каждое такое действие по реализации свертки выполняется только после того, как закончилось исполнение предыдущего $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow \dots \rightarrow R_{n-1} \rightarrow R_n$, где n – количество действий в свертке.

2. *Конечность* – процедура свертки/развертки должна приводить к решению задачи за конечное число итераций: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1} + R_n$, где n – количество действий в свертке/развертке.

3. *Комплексность* – при осуществлении процедуры свертки/развертки могут использоваться любые методы системного анализа, моделирования и принятия решений, как по отдельности, так и комплексно.

4. *Двойственность* – процедура свертки/развертки обеспечивает улучшение одних характеристик модели за счет некоторого ухудшения других свойств. Как правило, ухудшение выражается в снижении точности расчетов (работа имитационной модели) – в случае свертки, для развертки – увеличении длительности эксперимента.

5. *Неоднозначность* – разные процедуры свертки/развертки, применяемые к одному и тому же процессу могут приводить к различным результатам. Так, для представления и структуры сложного МППР используется аппарат системных иерархических графов высокого уровня интеграции [39] – в зависимости от критериев, на основании которых происходит формирование интеграционных уровней графа, могут быть получены разные модели.

6. *Выбор начальной вершины*. Алгоритмы на графах, наиболее часто используемые в системах искусственного интеллекта: поиск в глубину, поиск в ширину и т.д. [62], начинают работать, двигаясь по графу, с какой-либо стартовой вершины, причем выбор вершины и маршрут движения по графу может привести к различным результатам.

7. *Универсальность* – алгоритмы свертки/развертки разрабатываются в общем виде, т.е. используемые математические методы должны быть применимы для определенного класса задач, отличающихся только исходными данными или определенных структурных компонентов модели.

Преимущества использования процедур сверток:

1. Упрощается структура модели.

2. Уменьшается число ошибок и вероятность их возникновения в связи со следующими факторами:

- С ростом сложности программных систем вероятность ошибок увеличивается [76]. Применение сверток уменьшает сложность модели.
- Упрощение структуры модели в некоторых случаях уменьшает объем программного кода, например, в случае процедурного подхода – за счет написания часто используемых кусков кода в виде процедур [29]. Это, в свою очередь, уменьшает вероятность появления ошибок.

3. Увеличивается быстродействие модели за счет следующих факторов:

- Упрощается структура модели.
- Упрощаются алгоритмы расчета.
- Разработчик ограничивается анализом уровня и формой сигналов, исходящих из блоков модели, а также законами их изменения во времени.

4. Уменьшается вычислительная стоимость модели, т.е. уменьшается нагрузка на вычислительную технику и снижаются требования к ее производительности.

К недостаткам процедур свертки/развертки можно отнести тот факт, что разработчику, после того как он создаст полную модель МППР конкретного процесса, необходимо будет затратить дополнительное время на выполнение следующих действий:

1. Анализ структуры и параметров модели (по результатам имитационного эксперимента);
2. Принятие решения о целесообразности применения тех или иных процедур свертки/развертки к тем или иным частям модели;
3. Осуществление синтеза модели, т.е. применение к разработанной модели выбранной процедуры свертки/развертки.

Программная реализация данных этапов устранила бы данный недостаток за счет автоматизации труда аналитика и компенсировала бы за счет положительного эффекта сверток/разверток.

Исходя из основных положений реинжиниринга бизнес-процессов смысл процедур свертки может заключаться в горизонтальном и вертикальном сжатии, процедур развертки – в увеличении пропускной способности системы (уменьшение времени обработки документов, выполнении заказов; уменьшении очередей и т.д.).

Таким образом, требуется разработка теоретических основ синтеза и метода свертки/развертки модели МППР и его программная реализация для системы динамического моделирования ситуаций, что в конечном итоге позволит сократить время необходимое на выполнение анализа модели и применения процедур сверток/разверток, а также существенно облегчит труд аналитика и как следствие ускорить процесс принятия решений в целом.

1.5. Анализ современного состояния разработки информационных систем и проблемы использования средств имитационного моделирования

Имитационные модели, реализуемые на ЭВМ, являются программным обеспечением, в данном разделе рассмотрено современное состояние, сложившееся в области разработки информационных систем.

Основная причина разработки процедур свертки / развертки – это постоянно растущая сложность разрабатываемых информационных систем предприятий: «... в первые годы нового тысячелетия на свет вышла проблема сложности. То, что системы, особенно программные, стали чересчур сложными, оказалось неприятной неожиданностью. Начиная с 2003 года сложность стала одной из самых горячих тем...» [81]. Одной из основных проблем информационных технологий (ИТ) для корпоративных

приложений можно охарактеризовать как недостаток холистического или системного мышления в ИТ-индустрии. Следствие этого недостатка — неспособность строить достаточно сложные системы, соответствующие требованиям заказчиков [82]. Одним из первых представителей компаний-производителей о проблеме сложности заговорил вице-президент корпорации IBM по исследованиям и разработкам Пол Хорн. В опубликованном в 2001 году манифесте *Autonomic Computing. IBM's Perspective on the State of Information Technology* он провозгласил: «Помехой на пути дальнейшего развития является сложность. Преодоление барьера сложности становится одной из важнейших задач ИТ-индустрии. Это наша новая великая цель» [82].

При разработке больших программных систем возникают трудности, связанные с четырьмя основными причинами [25]:

1. Сложность проблемы;
2. Сложность управления процессом разработки;
3. Сложность обеспечения гибкости конечного программного продукта;
4. Сложностью описания поведения отдельных подсистем.

Буч Г. в работе [25] также выделяет пять признаков сложной системы:

1. Сложные системы часто являются иерархическими и состоят из взаимосвязанных подсистем, которые в свою очередь могут быть разделены на подсистемы, и т.д., вплоть до самого низкого уровня.
2. Выбор, какие компоненты в данной системе считаются элементарными, относительно произволен и в большей степени оставляется на усмотрение исследователя.
3. Иерархические системы обычно состоят из немногих типов подсистем, по-разному скомбинированных и организованных.
4. Любая работающая сложная система является результатом развития работавшей более простой системы. Сложная система,

спроектированная с «нуля», нуждается в серьезной предварительной проверке. Поэтому следует начинать с работающей простой системы.

Объектная технология открыла возможность построения гораздо более сложных систем и программных комплексов, чем допускала технология структурного программирования, возможности которого по созданию программного обеспечения оказались недостаточны. «За последние несколько лет объектно-ориентированная технология проникла в различные разделы компьютерных наук. К ней относятся как к средству преодоления сложности, присущей многим реальным системам. Объектная модель показала себя мощной объединяющей концепцией» [25]. Как результат применение структурной технологии приводит к слишком продолжительному жизненному циклу разработки, сложности в модернизации и управлении, сокращённому жизненному циклу и повышенной стоимости.

Как показывает практика, попытка составить детальное формальное описание (модель) системы (бизне-системы, производственной системы, ОТС) приводит к слишком высоким расходам человеческих, временных и финансовых ресурсов. Сама модель неизбежно будет содержать ошибки, возникновение которых связано со сложностью системы. Отсюда можно заключить, что умение выполнять декомпозицию системы равноценно умению превращать сложную систему в простую. Так как система находится в постоянном развитии, то здесь неприменимы методы, используемые для разработки программы, то есть, законченного программного продукта. Модель системы должна предусматривать:

1. Возможность модификации.
2. Содержать необходимые средства, позволяющие сделать процесс модификации максимально удобным и лёгким для исследователя.

Разработанная модель системы может развиваться произвольно долго, расширяя, углубляя и совершенствуя свои функциональные возможности в

соответствии с развитием реальной системы. Поэтому для выполнения модификации модели необходимо тщательное соблюдение прозрачности и понимания модели, дабы отдельные компоненты системы можно было безболезненно заменять на более простые, либо основанные на другом принципе. Такой подход обеспечит гибкость модели, т.е. ее развитие и модифицируемость. «При достижении некоторого порога сложности имитационной модели, возможность непосредственного анализа возросшего объема информации, получаемой с ее помощью, становится проблематичной. Возникают естественные вопросы сжатия, разумного агрегирования этой информации» [64].

Процедуры свертки/развертки модели представляют собой один из инструментов модификации. Необходимость разработки и использования процедур свертки/развертки уже указывается в современной отечественной и зарубежной литературе. В частности, Филиппович А.Ю. в своей работе [77] указывает: «Серьезным препятствием к использованию языков и систем ИМ является сложность описываемых систем и экспоненциально растущее время моделирования. Необходимо разработать такие языки ИМ, которые позволяют описывать различные операции свертки, иерархические объекты, правила преобразования моделей и т.д.».

В зарубежной литературе также встречаются аналогичные указания. В частности, Грэхэм Роулинсон в своей книге «ТРИЗ и программное обеспечение» (TRIZ and Software. By: Graham Rawlinson) отмечает, что сейчас практически нет работающих методов упрощения алгоритмов, а их структура зависит, в основном, от квалификации программистов.

Выводы: Современные методы динамического моделирования сложных систем, в частности, в области бизнес-процессов, процессов преобразования ресурсов, часто сталкиваются с объектами, в которых количество операций составляет сотни, а то и тысячи. Для имитационного моделирования таких объектов требуются все больше вычислительных ресурсов и машинного времени. В связи с этим является

актуальным выявление и использование новых принципов для построения и анализа моделей процессов преобразования ресурсов, заключающихся в следующем:

1) их совершенствование и модификация с помощью процедур свертки/разверток моделей, позволяющих решать следующие задачи:

- провести анализ модели;*
- повысить пропускную способность модели;*
- сократить время эксперимента и сделать модель менее ресурсоемкой (в случае свертки).*

2) разработка средств, позволяющих сделать процесс анализа и модификации удобным и понятным для исследователя, что можно интерпретировать в виде следующих требований к информационной технологии процедур свертки/разверток:

- визуальные средства формализации исследуемого процесса;*
- визуальные (графические) средства отображения модифицируемых элементов процесса;*
- база знаний для хранения модели МППР и правил свертки/развертки модели;*
- применение объектно-ориентированного подхода;*
- подсистема объяснения выбора элементов, попадающих в область свертки, и выбора правил модификации (правил свертки/развертки) выбранных элементов.*

1.6. Обзор и сравнительный анализ систем динамического моделирования ситуаций

1.6.1. Обзор систем динамического моделирования ситуаций (СДМС)

В настоящее время существуют единичные экземпляры систем подобного класса, вместо них адаптируют другие классы систем, частично реализующие требуемые функции и математические аппараты. Ниже приводится обзор близких по функциональности систем.

BP win и Arena

BPwin - средство функционального моделирования, реализующее методологию IDEF0-IDEF3. Одним из распространенных инструментов имитационного моделирования является система Arena фирмы System Modeling Corporation (www.sm.com) [98].

Функциональные и имитационные модели не заменяют, а дополняют друг друга, при этом они могут быть тесно взаимосвязаны. ИМ дает больше информации для анализа системы. Целесообразно сначала создать функциональную модель, а затем на ее основе построить имитационную. Инструментальное средство BPwin имеет возможность преобразования диаграмм IDEF3 в имитационную модель Arena [53].

ARIS ToolSet – система проектирования и моделирования бизнес-процессов. Обзор сделан по материалам [65, 84-85].

Система ARIS представляет собой комплекс средств анализа и моделирования деятельности предприятия, а также разработки автоматизированных информационных систем. В ее основу положена обширная методология, вобравшая в себя особенности различных методов моделирования, отражающих разные взгляды на исследуемую систему.

GPSS (General Purpose Systems Simulator)

Первая рабочая программа под названием GPSS была создана Джеффри Гордоном в 1961 году. Сейчас широко используется версия GPSS World. Основной динамической единицей в GPSS-модели является

транзакт, который по своим функциям аналогичен заявке или требованию в системе массового обслуживания. С помощью транзактов можно имитировать потоки людей, сообщений в системах телекоммуникаций, задач в вычислительной системе. Транзакт проходит через блоки модели, которые образуют направленный граф, называемый блок-схемой модели. Дуги графа — это допустимые пути передвижения транзактов [37, 69].

Pilgrim - система моделирования экономических процессов

Для моделирования экономических процессов выбирают систему ИМ Pilgrim. В настоящее время разработана версия Actor Pilgrim, где основной динамической единицей является актер, который автоматически реализуется в виде агентской программ. Основной динамической единицей в Pilgrim-модели является актер, который по некоторым своим функциям аналогичен транзакту в GPSS. С помощью акторов можно имитировать потоки [37].

Система имитационного моделирования AnyLogic

В 1999 году фирмой "XJ Technologies (Экс Джей Технолоджис)" (г. Санкт-Петербург) (<http://www.xjtek.ru/company/>) была завершена разработка системы AnyLogic. Это одна из немногих российских разработок в области ИМ, получивших признание за рубежом. AnyLogic представляет собой среду для графического создания моделей с использованием объектно-ориентированного языка Java. После создания модели и описания экспериментов автоматически генерируется программа имитационного моделирования. Основным элементом модели в среде AnyLogic является активный объект. Он имеет внутреннюю структуру и поведение, а также может содержать другие активные объекты как свои элементы. Структура активного объекта зависит от того, из каких элементов он состоит и какие связи существуют между включенными в него объектами. Поведение объекта показывает его реакцию на внешние события в виде последовательности его изменений во времени [23, 41].

AnyLogic поддерживает следующие подходы: дискретно-событийного и непрерывного моделирования (блок-схемы процессов, системную динамику, агентное моделирование, карты состояний, системы уравнений). В AnyLogic имеется возможность построения мультиагентных моделей.

В AnyLogic представление модели является визуальным и иерархическим. Графический язык моделирования, основанный на UML-RT, оперирует понятиями объектов и связей между ними - дискретными (отправка сообщений произвольной структуры) и непрерывными (отслеживание показателей). Описание поведения объектов производится с помощью фрагментов кода на языке Java: пользователю необходимо определить существенный код действий в специальных полях свойств элементов объектов, а весь рутинный код генерируется пакетом автоматически. При разработке сложных моделей не удастся обойтись без процедурной логики и, как следствие, написания значительного объема программного кода. **Доля программирования в этом случае составляет примерно 80% общих трудозатрат на разработку модели.**

Комплексы семейства BPsim

Разработана линейка прикладных пакетов программ семейства BPsim, которые используются в процессе бизнес-моделирования, принятия решений и проектирования программного обеспечения предметной области МППР. В линейку входят следующие пакеты программ [4, 19, 88, 95, 97]:

- BPsim.MAS – мультиагентная система динамического моделирования ситуаций (СДМС BPsim2);
- BPsim.MSN – система технико-экономического проектирования;
- BPsim.DSS – система поддержки принятия решений (СППР BPsim.DSS), реализующая архитектуру InteRRap;
- BPsim.SD – CASE-средство Software Developer;

– BPsim.Wizard – технология программных помощников.

Пакеты программ используют одну (общую) базу данных. Решение задачи интеграции СППР, систем моделирования и проектирования программного обеспечения (ПО) реализуется на основе диалоговых программ-помощников (визард), реализация которых возлагается на систему поддержки принятия решений BPsim.MSN. Такой подход позволяет максимально поддержать данную методику программными средствами.

СДМС *BPsim.MAS* [10] предназначена для решения задач динамического интеллектуального моделирования МППР (производственных и бизнес-процессов, ОТС). Система BPsim.MAS предназначена в целом для решения задач системного анализа (обследования), разработки моделей производственных и бизнес-систем, анализа узких мест, реинжиниринга и оптимизации. Применение математических моделей МППР позволяет на новом уровне генерировать и анализировать возможные прогнозы принятия решений. Удобный графический интерфейс позволяет решать задачи бизнес-моделирования непрограммирующему пользователю.

СДМС BPsim.MAS обеспечивает выполнение следующих функций: проектирование концептуальной модели предметной области; создание динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов; динамическое моделирование; анализ результатов экспериментов; получение отчетов по моделям и результатам экспериментов; экспорт результатов экспериментов в MS Excel и MS Project.

Система технико-экономического проектирования BPsim.MSN (BPsim.DSS [88-90, 92,99]) обеспечивает выполнение следующих функций:

- системный анализ предметной области;
- проектирование концептуальной модели предметной области (рис. 1.11);

- экспертное технико-экономическое проектирование;
- анализ результатов экспериментов;
- получение отчетов по моделям и результатам экспериментов (формирование бизнес-кейса и диаграмм Ганта);
- экспорт результатов экспериментов в MS Excel и MS Project.

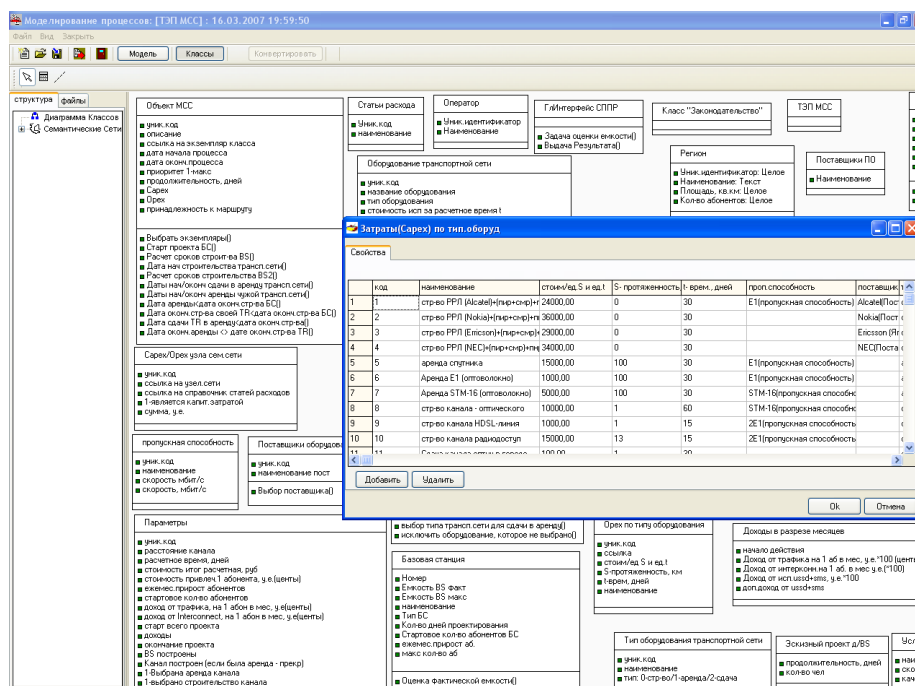


Рис. 1.11. Диаграмма классов и наполнение БЗ экземплярами в BPsim.MSN

1.6.2. Требования к СДМС бизнес-процессов и ОТС

На основе предыдущих разделов выделим следующие требования к средствам СДМС бизнес-процессов и ОТС:

1. Проектирование концептуальной модели предметной области (КМПО).
2. Описание динамических процессов преобразования ресурсов:
 - а) Описание ресурсов, средств, преобразователей.
 - б) Описание целей.
 - в) Поддержка создания иерархической модели процесса.
 - г) поддержка аппарата систем массового обслуживания (СМО) – элемент заявка (транзакт).

3. Возможность построения мультиагентных моделей. Наличие агентов (моделей ЛПР), обладающих моделью поведения и знаниями:
 - a) Наличие класса (элемента) «агент», на основе которого можно создавать ИА.
 - b) Модель поведения агента (язык описания сценариев поведения агентов, язык описания команд управления).
 - c) Язык описания знаний агента.
 - d) Язык описания целей агента.
4. Поддержка имитационного моделирования. Интегрируемость СДМС со средством имитационного моделирования.
5. Поддержка экспертного моделирования (ЭС). Описание знаний о предметной области. Данная функция необходима для накопления знаний и последующего вывода на знаниях.
6. Поддержка ситуационного подхода. Наличие языка описания ситуаций.
7. Поддержка объектно-ориентированного подхода (ОО подход, ООП):
 - a) Использование языка UML (поддержка инструментария системного анализа);
 - b) Объектно-ориентированное программирование (ОО-программирование);
 - c) Объектно-ориентированное ИМ (ОО-ИМ);
 - d) Использование результатов, полученных на этапе системного анализа – использование спроектированных классов и экземпляров классов КМПО при построении имитационной модели (Связь КМПО и ОО-ИМ).
8. Возможность реализации процедур свертки/развертки модели МППР.
 - a) Доступ к базе знаний модели;
 - b) Наличие средств анализа модели МППР;

с) Возможность программной реализации процедур свертки/развертки модели МППР, встроенными средствами СДМС.

9. Поддержка стандарта IDEF0.

10.Стоимость.

1.6.3. Сравнительный анализ СДМС

В табл. 1.1 приводятся результаты сравнительного анализа.

Таблица 1.1 Сравнительный анализ систем близких по функциональности к СДМС

№ п/п	Параметр	ARIS	Any-Logic	BPwin + Arena	Pilgrim	GPSS	Bpsim
1	Проектирование концептуальной модели предметной области	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+	НЕТ	+
2	Язык описания процессов преобразования ресурсов						
2.1	- Описание ресурсов, средств, преобразователей	+	+	+	+	+	+
2.2	- Описание целей системы	+	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
2.3	- Иерархическая модель процесса	+	+	+	НЕТ	НЕТ	+
2.4	- СМО	НЕТ	+	+	+	+	+
3	Построение мультиагентной модели						
3.1	- Элемент АГЕНТ	НЕТ	+	НЕТ	+	НЕТ	+
3.2	- Модели поведения агентов	НЕТ	+	НЕТ	+	НЕТ	+
3.3	- База знаний агента	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
4	Имитационное моделирование	+	+	+	+	+	+
5	Экспертное моделирование	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
6	Ситуационный подход	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+	НЕТ	+
7	ОО подход						
7.1	- Использование языка UML	+	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
7.2	- ОО-программирование	НЕТ	+	НЕТ	+	НЕТ	+
7.3	- ОО-ИМ	НЕТ	+	НЕТ	+	НЕТ	+
7.4	- Связь КМПО и ОО-ИМ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ
8.	Возможность реализации сверток						
8.1	- Доступ к модели	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ	+	+
8.2	- Наличие средств анализа модели	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ
8.3	- Средства свертки модели	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ
8.4	- Возможность реализации процедур сверток/разверток в СДМС	НЕТ		НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
9	Поддержка стандарта IDEF0	НЕТ	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ	+
10	Стоимость, тыс. долларов	50	4,8	11		3	4

Как следует из табл. 1.1 и проведенного сравнительного анализа из рассмотренных систем с точки зрения возможности реализации информационной технологии реинжиниринга (свертки/развертки) модели МППР больше всего подходят системы семейства BPsim. На основе систем Pilgrim и AnyLogic возможно построение мультиагентных СДМС бизнес-процессов и ОТС. Функции проектирования концептуальной модели предметной области и построения мультиагентных моделей, содержащих интеллектуальных агентов, за исключением BPsim, рассмотренные системы не поддерживают. Понятийный аппарат всех систем соответствует проблемной области процессов преобразования ресурсов. В системе AnyLogic при создании сложных мультиагентных моделей графических средств недостаточно, приходится использовать программный код. К достоинствам пакетов AnyLogic и Pilgrim можно отнести использование языка высокого уровня, благодаря чему пакеты могут предоставлять разработчику моделей серьезный уровень функциональности. Анализ применения ОО-технологий в СДМС показал следующие результаты: 1) визуальный язык моделирования UML используется только в системах ARIS и BPsim, в AnyLogic используются только диаграммы состояний; 2) ОО-программирование наиболее полно используется в системе AnyLogic; 3) переход от стадии системного анализа (СА, проектирования КМПО) к ОО ИМ ни одна из систем не поддерживает (данная функциональность позволила бы конечным пользователям создавать собственные предметные библиотеки, ориентированные на их задачи и специфику процессов).

Ни одна из рассмотренных систем не обладает встроенными средствами анализа узких мест и свертки/развертки мультиагентной модели. Наибольшие возможности для программной реализации процедур свертки/развертки модели МППР дает семейство СППР BPsim за счет поддержки технологии реализации программных помощников.

1.7. Постановка задачи исследования

Проблема исследования и разработки моделей, методов и средств реализации процедур реинжиниринга (сверток/разверток) мультиагентных имитационных моделей в настоящее время находится в стадии развития. В настоящий момент не существует алгоритмов сверток/разверток для предметной области процессов преобразования ресурсов (бизнес-процессов и организационно-технических систем). Об актуальности исследования, разработки и внедрения процедур сверток/разверток говорится в работах Филипповича А.Ю., Севастьянова П., Дымовой Л., Дилигенского Н., Черненко В.М., Черняка Л., а также в работах зарубежных авторов Грэхэма Роулинсона и Буча Г.

Требуют дальнейшего исследования и разработки такие вопросы как:

1. Создание метода принятия решений задачи реинжиниринга (свертки/развертки) динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурса.
2. Реализация языковых и проблемно-ориентированных инструментальных средств моделирования и реинжиниринга в области процессов преобразования ресурсов, поддерживающих полный жизненный цикл разработки и отладки моделей и проведения экспериментов.

2. МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ РЕИНЖИНИРИНГА (СВЕРТКИ/РАЗВЕРТКИ) ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ

2.1. Требования к методу принятия решений задачи анализа и синтеза процесса преобразования ресурсов

Основными этапами метода принятия решений задачи реинжиниринга (применения процедур свертки/развертки) модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (бизнес-процесса / организационно-технической системы) являются:

1. Анализ структуры и параметров модели (по результатам имитационного эксперимента).
2. Поиск «узких мест» в модели процесса.
3. Принятие решения о целесообразности применения тех или иных процедур свертки/развертки к тем или иным частям модели;
4. Осуществление синтеза модели, т.е. применение к разработанной модели выбранной процедуры свертки/развертки.
5. Анализ характеристик новой модели процесса по результатам имитационных экспериментов.

Исходя из основных этапов, можно сформулировать следующие требования к методу принятия решений задачи реинжиниринга (анализа и синтеза) модели МППР:

- 1) ориентация на моделирование процессов преобразования ресурсов и решение соответствующих задач [12] и отражение следующих особенностей данных процессов: учет различных типов ресурсов (материальных, информационных, энергетических, трудовых, финансовых); учет состояния операций и условий в конкретные моменты времени; возможность задания начальных состояний операций; учет

возникновения и разрешения конфликтов на общих ресурсах и средствах; возможность задания разветвления и слияния потоков ресурсов; иерархическое представление структуры процесса; возможность расчета характеристик и параметров процесса на каждом уровне иерархии;

2) наличие сообществ интеллектуальных агентов, участвующих в управлении процессом преобразования ресурсов. Данное требование предполагает наличие следующих элементов: модели агента, базы знаний интеллектуального агента, модели взаимодействия (общения) агентов [10];

3) применение ситуационного подхода (наличия в модели агента механизмов диагностирования ситуаций и поиска решений) [10];

4) наличие средств свертки/развертки модели МППР;

5) результаты анализа модели (включая анализ результатов имитационных экспериментов), а также решения о реинжиниринге (применении тех или иных процедур свертки/развертки модели МППР должны быть понятны пользователю-ЛПР. Таким образом, метод должен иметь подсистему объяснения и базу знаний диагностики ситуаций узких мест процесса.

О необходимости включения в имитационную модель подсистемы объяснения с целью максимального вовлечения в процесс принятия решений ЛПР (высшего руководства предприятия) говорилось в [61].

Определим условия завершения процедуры свертки/развертки модели:

1. На заданный набор входных воздействий и на аналогичном интервале модельного времени характеристики моделируемой системы имеют лучшие значения (в сравнении с другими экспериментами) или достигают заданных значений.
2. Производительность свернутой модели признана удовлетворительной с точки зрения ограничений по времени на принятия решений.

3. Больше нет элементов, подлежащих свертке/развертке, или, согласно заданным критериям и характеристикам моделируемой системы, больше нет необходимости проводить изменения с моделью (найденно эффективное решение).
4. Рассмотрены все возможные варианты свертки / развертки модели.
5. Применение сверток/разверток, проведение серий имитационных экспериментов и анализ их результатов попадает в допустимый интервал времени для принятия решений.

Динамическая модель МППР [10] относится к классу семиотических моделей. Динамическая модель процесса преобразования ресурсов [12-13] была разработана на основе следующих математических схем: сетей Петри, систем массового обслуживания, моделей системной динамики, данные модели имеют аппарат аналитического моделирования, который эффективно можно использовать на этапе анализа модели МППР и результатов экспериментов с целью поиска «узких мест».

Для реализации метода анализа модели и алгоритмов свертки/развертки рассмотрим модель МППР в виде многоканальной схемы массового обслуживания.

Классификация агентов процесса преобразования ресурсов

На основе архитектуры гибридного агента МППР можно создавать следующие виды агентов, для решения различных прикладных задач [18]:

- **реактивные агенты**, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только диаграммой деятельности (конечным автоматом). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР;

- **реактивно-интеллектуальные агенты**, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только продукционной базой знаний (тактической). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР, описания моделей ЛПР, управляющих процессами;

- **интеллектуальные агенты**, поведение и логика работы которых определяется только планирующей подсистемой и знания хранятся в фреймовой базе знаний (стратегической). Данный вид агентов используется для построения проблемно-ориентированных интеллектуальных систем на основе аппарата фреймовых экспертных систем (задачи диагностики, проектирования, построения советующих ЭС и систем технико-экономического проектирования);

- **гибридные агенты**, полностью реализующие функциональность архитектуры гибридного агента МППР. Данный вид агентов используется для построения сложных, интеллектуальных систем управления и планирования, контур которых состоит из 2х элементов: 1) динамической модели процесса управления и 2) блока (модуля), реализующего поиск решения многопараметрической задачи и выработки (генерации) управляющего воздействия на модель процесса управления.

2.2. Представление модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов в виде многоканальной системы массового обслуживания

Элементы процессов преобразования ресурсов – представляют собой совокупность из $N < \infty$ операций Op_i , из которых i -я операция характеризуется случайным временем обслуживания $t_{обсл}$ с функцией распределения $Gi(x)$. Заявка, поступающая на Op_i , занимает свободные ресурсы и средства преобразования.

Элементарной операции процесса преобразования ресурсов (Op_k), соответствует следующая структура [10]:

$$Op_k = \langle f, in, out, u, h_{Op}, g_{Op}, c_a, mech, Status_{Op}, time, prior, kind_prior, breack_off \rangle \quad (2.1)$$

где f - функция, реализуемая операцией; $in = \{in_1, \dots, in_n\}$ – множество входов, различных типов; $out = \{out_1, \dots, out_m\}$ – множество выходов, $out = f(in)$; $u = \{u_1, \dots, u_z\}$ – множество команд управления; $h_{Op} = \{h_{Op}^1, \dots, h_{Op}^k\}$ – характеристики операции; g_{Op} – цели операции (требуемые значения

характеристик операции), $g_{Op} \subseteq h_{Op}$; c_a – условие запуска операции; $mech = \{mech_1, \dots, mech_q\}$ – средства преобразования; $Status_{Op} = \{wait, active, lock, done\}$ – состояние операции, определенное на конечном множестве состояний: *wait* – ожидание, *active* – выполнение, *lock* – прерывание, *done* – выполнена; *time* – длительность выполнения преобразования; *prior* – приоритет операции задает очередность выполнения операций, может быть описан постоянной величиной или функцией, т.е. быть статическим или динамическим; *kind_prior* – тип приоритета (относительный, абсолютный); *break_off* = $\{true, false\}$ – признак запрета прерывания, если «*true*» – правило не может прерываться.

Для того, чтобы перейти в состояние *active*, операция должна проверить условие запуска $Action_{Ca}:Ca(t)$. Если $Ca(t)=true$, то операция переходит в состояние *active*.

Условие запуска (C_a) в общем виде задается следующим образом [12]:

$$C_a(t) = C_a^{in}(t) \wedge C_a^{out}(t) \wedge C_a^u \wedge C_a^{mech}(t) \wedge C_a^{status}(t) \wedge C_a^{time}(t) \quad (2.2)$$

где C_a^{in} – условие наличия необходимых входных ресурсов; C_a^{out} – условие учета ограничений выхода; C_a^u – условие наличия разрешающих команд управления; C_a^{mech} – условие готовности необходимых средств; C_a^{status} – условие готовности к исполнению; C_a^{time} – условие запуска по времени.

Одним из основных элементов модели процессов преобразования ресурсов является очередь заявок, работающая по схеме кусочно-линейного агрегата (рис. 2.1). Для компактности рисунка, ресурсы и средства не приведены.

Очередь заявок – массив данных, предназначенный для упорядоченного хранения и обработки приходящих заявок. Очередь заявок, учитывая динамическую природу заявок, определяется следующим образом [12]: $Queue_k^r(t) = \{Order_j^1, \dots, Order_j^l, \dots, Order_j^m\}$, где $Queue_k^r$ – k -я очередь на выходе r -й операции, $Queue_j^l$ – заявки в очереди.

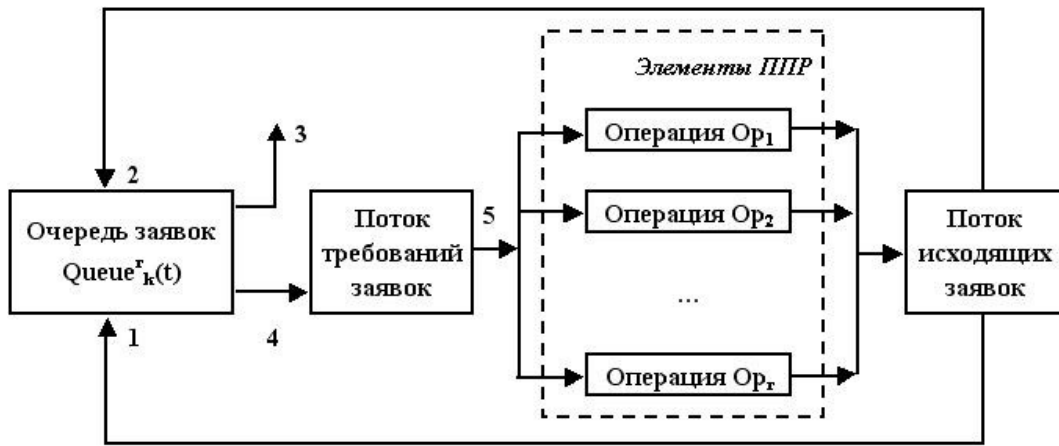


Рис. 2.1. Многоканальная система обслуживания заявок в виде МПР

Модель обслуживания заявок имеет следующие информационные потоки (см. рис. 2.1): 1 – входные сигналы о пришедших заявках, 2 – сигналы требований на заявки, 3 – сигналы о потерянных заявках, 4 – сигналы о заявках, ушедших на обслуживание, 5 – сигналы об обслуживаемых заявках.

Каждой заявке соответствует следующая структура [12]:

$$Order_j = \langle name, count, real, lock, owner, parent, prior, t_{create}, t_{wait} \rangle, \quad (2.3)$$

где *name* – имя заявки *j*-го типа, *count* – заказываемый объем работ *j*-го типа, *real* – выполненный объем работ *j*-го типа, *lock* = {*true*, *false*} – признак блокировки заявки, устанавливается в “*true*” на время обработки операцией, “источником” или “приемником”, *owner* – если *lock* = “*true*”, то имя элемента, обрабатывающего заявку, иначе – имя последнего блока, обработавшего заявку, *parent* – имя блока, создавшего заявку, *prior* – приоритет заявки, *t_{create}* – время создания заявки, *t_{wait}* – время ожидания заявки в очереди.

Динамика модели обслуживания заявок выглядит следующим образом:

1. Приходящие заявки, обладающие определенным набором параметров, выстраиваются в *накопителе* по мере их поступления.
2. По сигналу, получаемых от элементов модели МПР, накопитель выдает очередную заявку во вне.

3. Если в момент получения такого сигнала очередь пуста, то сигнал запоминается очередью и заявка во вне выдается в момент ее поступления в очередь.

4. Если в пустую очередь поступает несколько сигналов о выдаче заявок, то они удовлетворяются по мере их поступления и с учетом приоритета.

5. В момент поступления заявки в очередь формируется случайное время t , имеющее функцию распределения F и являющееся предельно допустимым временем пребывания заявки в очереди, по истечении которого заявка теряется.

Многоканальная СМО также может быть реализована на основе реактивно-интеллектуального агента МППР, у которого отдельные производственные правила соответствуют операциям из $\{Op_1, \dots, Op_T\}$ (вместо параллельных операций, моделирующих каналы обслуживания).

2.3. Анализ и синтез модели МППР

2.3.1. Задачи анализа и синтеза

Анализ имитационной модели связан с выделением (декомпозицией) некоторых свойств из всей совокупности свойств, характеризующих модель [74]. Реализация алгоритмов свертки/развертки модели требует проведение предварительного анализа модели и результатов экспериментов с целью поиска «узких мест». Однако, имитационная модель МППР в своем первоначальном виде не может быть использована для аналитического исследования модели и результатов имитационных экспериментов, а также поиска «узких мест».

Поэтому имитационную модель МППР преобразуем в *граф образа модели* – совокупность элементов МППР и связей между ними, представленная топологическим графом. В дальнейшем граф образа модели будем обозначать как G .

Целями создания образа модели МППР являются:

1. Исследование модели МППР.
2. Поиск вариантов проведения свертки/развертки модели МППР.

В качестве основных методов исследования модели МППР, позволяющих произвести упрощение структуры модели, будут использоваться следующие методы:

1. *Системный анализ* – методология (совокупность методов), основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных систем – технических, экономических, экологических и т.д. [54].

2. *Системный синтез*. На сегодняшний день в литературе отсутствуют определения такого понятия как «системный синтез» при наличии таких распространенных определений как «системный анализ», «системный подход», что говорит об отсутствии законченных концепций и недостаточности инструментальных средств [24]. Поэтому математическое моделирование с успехом описывает параметрический синтез, ему удается одномерная и многокритериальная оптимизация в этой области, но оно бессильно предложить новые решения, связанные с возникновением другого качества. Под системным синтезом понимается целенаправленный процесс гармоничного соединения или объединения ранее разрозненных вещей или понятий в нечто качественно новое, целое [27].

Применительно к сложным системам можно использовать только оба этих метода в совокупности. Этапы совместного использования методов анализа и синтеза схематично изображены на рис. 2.2.

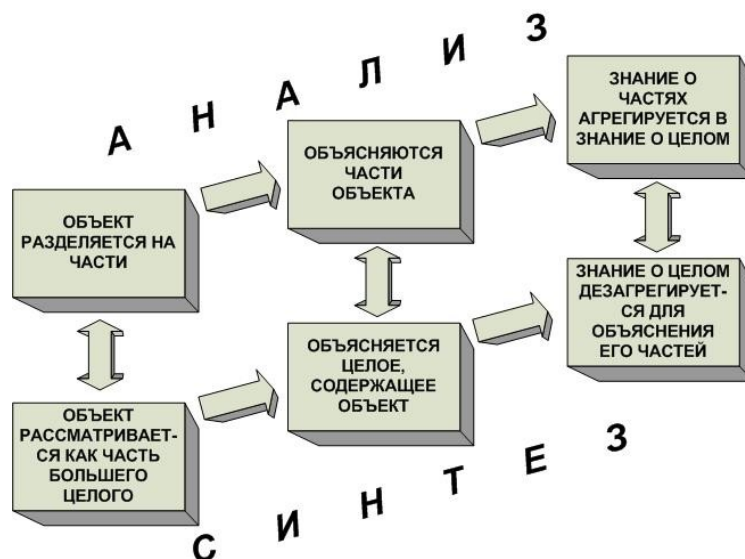


Рис. 2.2. Этапы совместного использования методов анализа и синтеза.

При исследовании имитационной модели МППР, подлежащей свертке, решаются следующие задачи системного анализа:

1. Определение топологии и свойств модели МППР, путем составления ее графового образа G . Таким образом, граф образа G выступает в качестве структурной модели.
2. Поиск «узких мест» модели по результатам эксперимента или путем опроса.
3. Оценка пригодности элементов модели к свертке/развертке.
4. Оценка степени реализации множеств свертки/разверток в системе заданных целей.
5. Выбор одного или несколько вариантов свертки/развертки для практической реализации. Формальным критерием выбора являются лучшие характеристики моделируемой системы.

При анализе имитационной модели с помощью ее графа G образа модели исследуется влияние изменений в топологии имитационной модели за счет применения процедур свертки/развертки на изменения характеристик моделируемой системы по результатам экспериментов.

Синтез имитационной модели решает следующие задачи:

1. Исследование некоторого количества вариантов осуществления процедур свертки/развертки, которые приводят к изменению топологии имитационной модели и улучшению характеристик имитационной модели системы (бизнес-системы / ОТС).
2. Выбор эффективного, с точки зрения задачи принятия решений, варианта свертки/развертки модели как результат вышеназванного анализа.

Анализ и синтез сложных систем всегда связан с решением задач большой размерности и неопределенности, поэтому необходимо определить основные принципы системного подхода для реализации всех этапов решения задач анализа и синтеза [39]:

1. Единство функционально-целевых и причинно-следственных отношений.
2. Последовательное раскрытие неопределенности и избыточности.
3. Однозначное представление свойств, характеристик и взаимосвязей.
4. Многоуровневая функционально-целевая причинно-следственная интеграция.
5. Целенаправленное эволюционное развитие топологии и параметров системы.
6. Выбор общего базиса для оценки влияния топологии и параметров на свойства, качества и характеристики системы.

Вышеназванные принципы взяты в основу для изучения свойств модели МППР и решения задач анализа и синтеза.

2.3.2. Элементы и свойства графа образа модели

Принцип однозначного представления свойств и характеристик на этапе решения задачи анализа модели МППР обеспечивает:

Обоснованный выбор такой формы представления модели МППР в виде графа, которая позволит:

1. Однозначно оценить пригодность модели МППР для проведения свертки;
2. Определить характеристики модели МППР после проведения свертки.

Основываясь на вышеуказанном принципе, целесообразно сопоставить каждому элементу МППР определенный элемент графа:

1. Операциям процессов преобразования ресурсов ставятся в соответствие вершины графа $Op(G)$. Через Op_i^{SV} обозначим операцию процесса преобразования ресурсов, входящую в свертку $Op_i^{SV} \in Op^{SV}(G) \in Op(G), Op^{SV}(G) \leq Op(G)$. Количество вершин $Op(G)$ графа G обозначим как $|Op(G)| = n_o$.
2. Реактивно-интеллектуальному агенту процесса преобразования ресурсов ставится в соответствии множество параллельных операций. Каждой операции устанавливается в соответствии одно правило агента.
3. Ресурсам ставятся в соответствие вершины графа $Res(G)$. Количество вершин $Res(G)$ графа G обозначим как $|Res(G)| = n_r$.
4. Средствам преобразования ресурсов ставятся в соответствие Вершины графа $Mech(G)$. Количество вершин $Mech(G)$ графа G обозначим как $|Mech(G)| = n_m$.
5. Совокупность вершин $Op(G)$, $Res(G)$ и $Mech(G)$ определяют порядок графа образа модели G : $|V(G)| = n$, где $|V(G)| = |Op(G)| + |Res(G)| + |Mech(G)|$.
6. Связям между операциями ставятся в соответствие ребра графа $O_i \in O(G)$. Количество ребер $O(G)$ графа G обозначим как $|O(G)| = m_o$. Переходы между операциями бывают следующих видов: последовательные и с обратной связью (рис. 2.3).

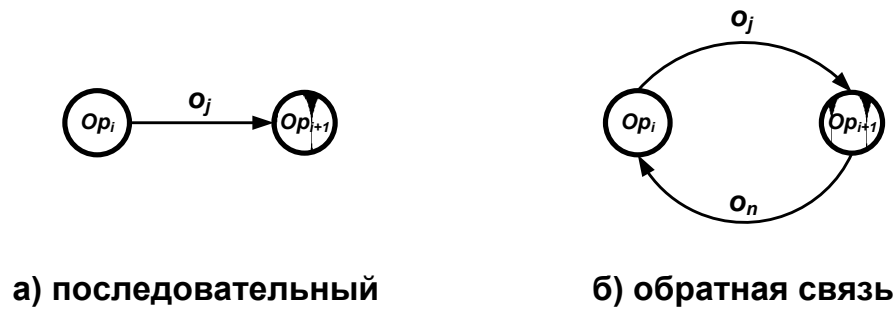


Рис. 2.3. Виды переходов между операциями.

7. Связям между операциями и ресурсами ставятся в соответствие ребра графа $R(G)$, которые, с учетом их направленности, представляют собой процессы расхода или пополнения ресурсов (рис. 2.4а). При этом ребра с нечетными индексами $r_i \in R(G)$, направленные от Res_k к Op_l обозначают процесс потребления ресурса Res_k . Ребра с четными индексами $r_{i+1} \in R(G)$, направленные от Op_l к Res_k обозначают процесс пополнения ресурса Res_k . Количество ребер $R(G)$ графа G обозначим как $|R(G)| = m_r$.

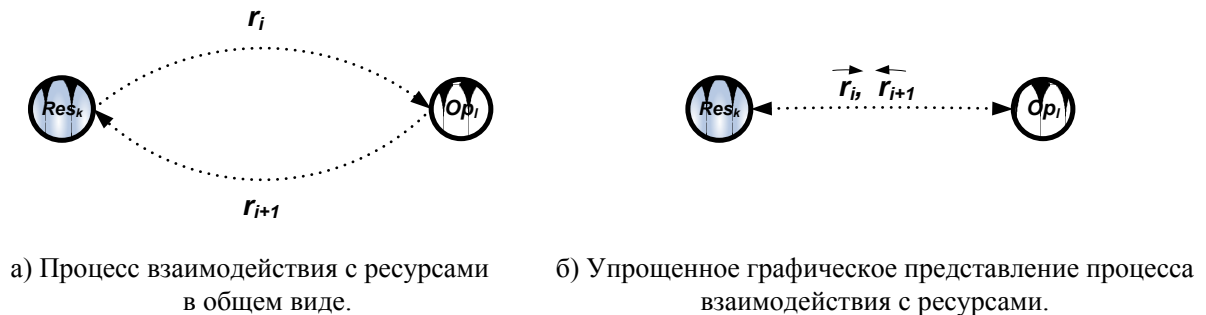
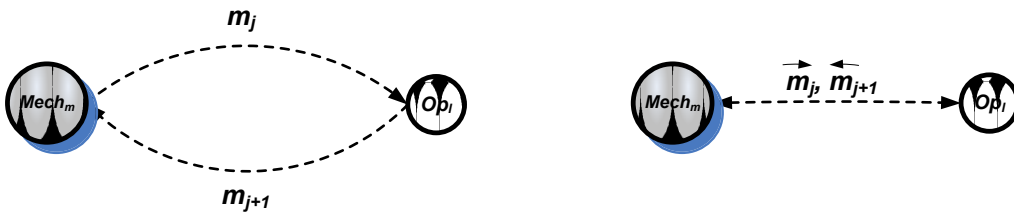


Рис. 2.4. Взаимодействие $Op(G)$ и $Res(G)$.

С целью упрощения графического представления и улучшения воспринимаемости, для образов модели будем использовать форму графического представления процесса взаимодействия с ресурсами, представленную на рис.2.4б.

7. Связям между операциями и средствами преобразования ресурсов ставятся в соответствие ребра графа $M(G)$, которые с учетом их

направленности, представляют собой процессы захвата или высвобождения средств преобразования ресурсов (рис.2.5а).



а) Процесс взаимодействия со средствами преобразования ресурсов в общем виде. б) Упрощенное графическое представление процесса взаимодействия со средствами преобразования ресурсов.

Рис. 2.5. Взаимодействие $Op(G)$ и $Mech(G)$.

При этом ребра с нечетными индексами $m_j \in M(G)$, направленные от $Mech_j$ к Op_l , обозначают процесс захвата $Mech_i$. Ребра с четными индексами $m_{j+1} \in M(G)$, направленные от Op_l к $Mech_j$ обозначают процесс высвобождения $Mech_j$. Количество ребер $M(G)$ графа G обозначим как $|M(G)| = m_m$. Для образа модели будем использовать форму графического представления процесса взаимодействия со средствами преобразования ресурсов, представленную на рис.2.5б.

8. Совокупность ребер $O(G)$, $R(G)$ и $M(G)$ определяет *размерность* графа G образа модели: $|E(G)| = m$, где $|E(G)| = |O(G)| + |R(G)| + |M(G)|$.

Также в графе G образа модели присутствуют исходные элементы Op_i^0 , Res_i^0 , $Mech_i^0$, отражающие начальное состояние модели. С помощью вышеперечисленных элементов формируется конечный вершинный (n, m) -граф G образа модели, обладающий следующими свойствами:

1. (n, m) -граф G – это связный граф, т.к. каждая пара вершин соединена цепью.

2. (n, m) -граф G допускает кратные ребра, т.е. может существовать, по крайней мере, еще одно ребро o_i с теми же граничными вершинами. В этом случае получается (n, m) -мультиграф G .

3. (n, m) -граф G допускает петли, т.е. наличие ребер вида $o_i(Op_j, Op_j)$.

Граф с петлями и кратными ребрами называется *псевдограф*.

4. (n,m) -граф G – это ориентированный граф (орграф).

5. (n,m) -граф G – это нагруженный граф, т.е. каждому ребру $o_i \in O(G)$ присвоен определенный вес, соответствующий определенной характеристике процесса.

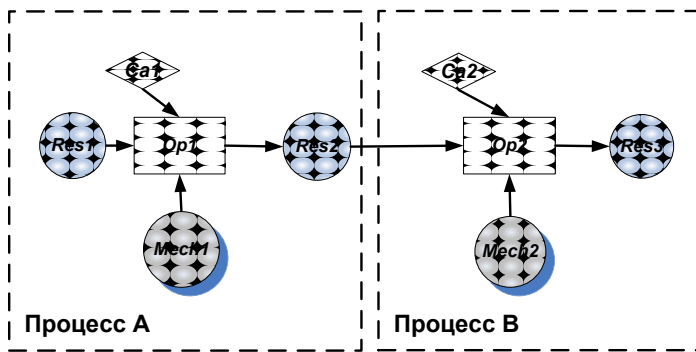
Рассмотрим особенности представления модели МППР в виде графа при различных типах взаимосвязи между входами и выходами процессов:

1. *Взаимосвязь по входу*. При такой взаимосвязи выход некоего процесса A является входом для другого процесса B (рис. 2.6а).
2. *Обратная связь по входу*. При данной взаимосвязи выход из одного процесса A является входом для другого процесса B , выход которого является для процесса A входом (рис. 2.6б).
3. *Взаимосвязь «выход-средство»*. При подобной взаимосвязи выход одного процесса A является средством преобразования ресурсов для другого процесса B (рис. 2.6в).

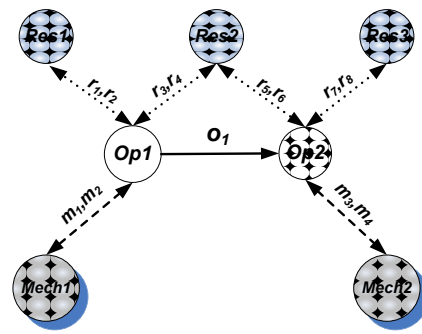
В данном случае элемент графа $Res2$ выполняет также функцию средства, т.к. объект $Res2$ может использоваться другими операциями, как входной ресурс, так и средство преобразования ресурса.

4. *Производственные правила агентов МППР*. В графической нотации МППР агенту соответствует 1 блок. Функционально агент содержит базу производственных правил. В графическом виде 1 производственное правило представлено на рис. 2.6г. Входам и выходам правил соответствуют соответственно условия и действия, связанные с состоянием ресурсов, средств, заявок, операций.

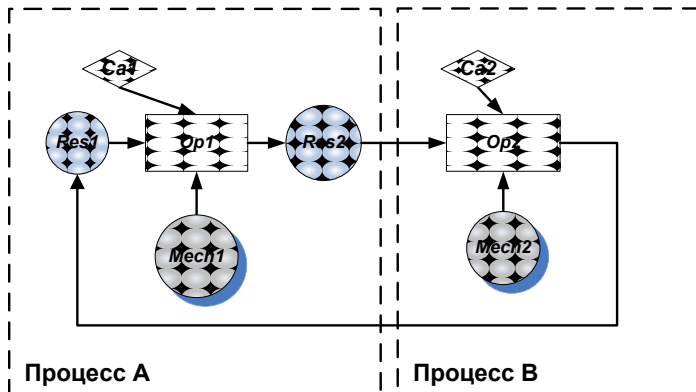
Пример графа G образа модели для процесса преобразования ресурсов цепи поставок, изображенного на рис.2.7, показан на рис.2.8.



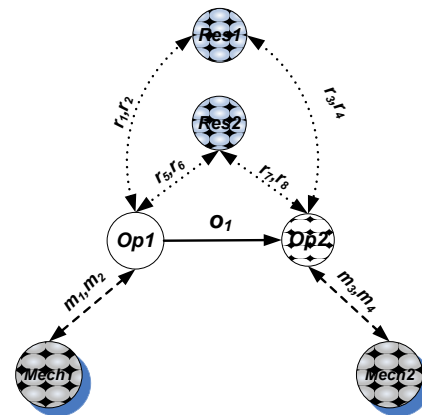
а) взаимосвязь операций по входу



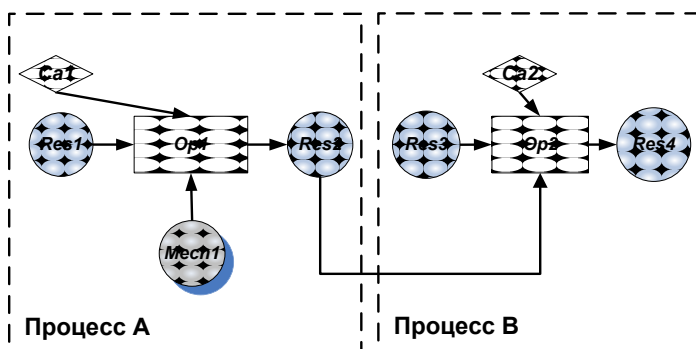
графовый образ



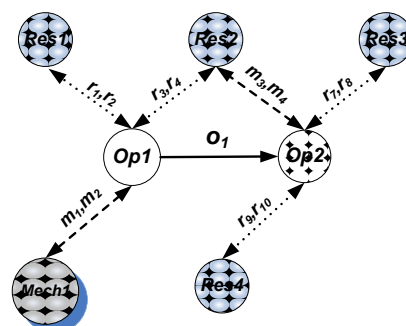
б) обратная связь операций по входу



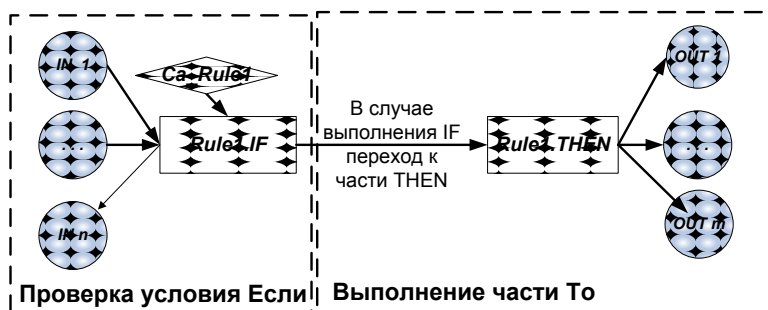
графовый образ



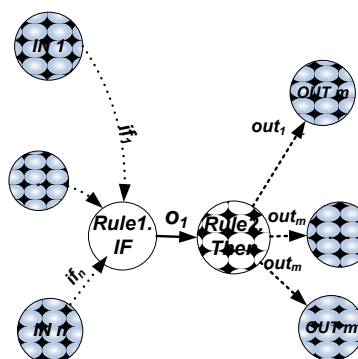
в) взаимосвязь операций «выход-средство»



графовый образ



г) правило агента



графовый образ

Рис. 2.6. Графовые образы различных ситуаций

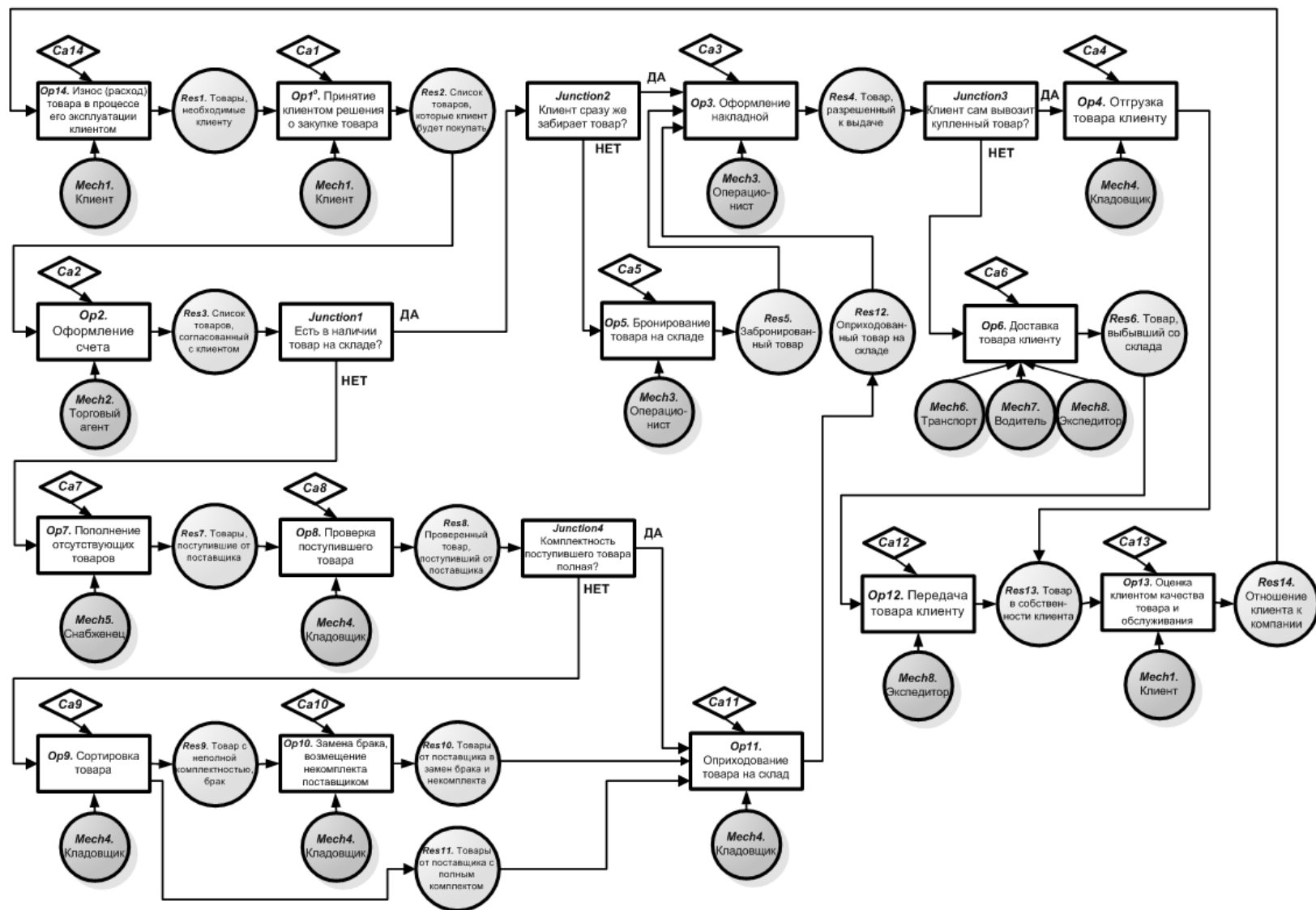


Рис. 2.7. Процесс преобразования ресурсов цепи поставок.

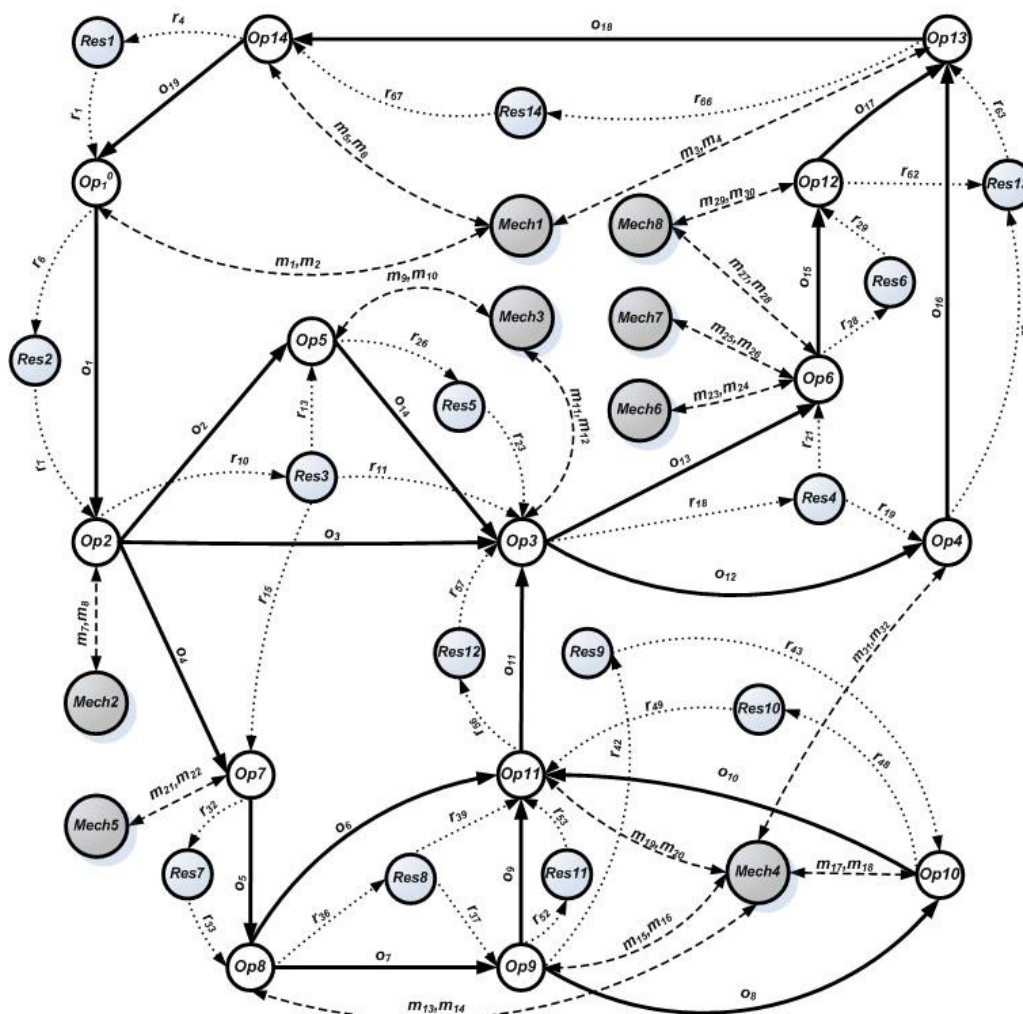


Рис. 2.8. Граф G образа для модели, изображенной на рис. 2.7.

2.3.4. Сворачиваемость и разворачиваемость графа образа модели

Введем следующие определения:

Область свертки/развертки – множество процессов преобразования ресурсов, к которым применяются процедуры свертки.

Пограничные процессы преобразования ресурсов – множество процессов преобразования ресурсов, принадлежащих области свертки и связанные какими-либо отношениями с процессами преобразования ресурсов, расположенными вне области свертки/развертки.

Рассмотрим основные системные свойства модели МППР. Для описания уровней организации применим принцип выделения функционально-целевых уровней интеграции [39] к графу G образа

модели. Представим граф G образа модели в виде, образованном на множестве $\{G_i; i \in \{1, n_i\}; G_i \in G\}$ подграфов. Каждый подграф $G_i \in G$ состоит из множества элементов $Op_i(G) \in Op(G)$, объединенными функционально-целевыми связями и между которыми установлены отношения $o_i \in O(G)$. Подграфы $\{G_i; i \notin \{1, n_i\}; G_i \in G\}$ связаны между собой отношениями вида $W_{\alpha\gamma}^{ij}; i \neq j; \alpha \in \{1, n_i^\alpha\}; \gamma \in \{1, n_j^\gamma\}$. Представление графа G в виде множества $\{G_i; i \in \{1, n_i\}; G_i \in G\}$ подграфов преследует следующие цели:

1. Функционально-целевое упорядочение графа G образа модели:
 - как элемент анализа, при котором элементы $Op_i(G) \in Op(G)$ рассматриваются как конечные неделимые части модели, образом которой является граф G .
 - как элемент синтеза, при котором элементы $Op_i(G) \in Op(G)$ рассматриваются как части более крупных функциональных образований $\{G_i; i \in \{1, n_i\}; G_i \in G\}$, в результате чего осуществляется глубокое структурное объединение компонентов разных типов.
2. Снижение размерности графа G образа модели по функционально-целевому признаку.

Вышеописанный подход позволяет рассматривать конечную модель МППР как причинно-следственную модель с максимальной топологической определенностью, что соответствует нулевому ($L=0$) функционально-целевому уровню интеграции сложной системы (рис. 2.9). Для примера, изображенного на рис.2.7 нулевым ($L=0$) функционально-целевым уровнем интеграции является граф G , представленный на рис.2.8.

Первому ($L=1$) функционально-целевому уровню интеграции модели МППР соответствует интеграция элементов модели Op_i в подсистемы $\{S_k; k \in \{1, n_k\}; S_k \in S\}$, обладающие системными свойствами и реализующие следующие функции по взаимодействию с внешней средой: самостоятельные, общесистемные и управленческие. Рассмотрим пример

на рис.2.7. Операции $\{Op1, Op2, ..., Op14\} \in Op(G)$ по функциональной принадлежности закреплены за следующими определенными подразделениями (подсистемы):

1. $\{Op1, Op13, Op14\} \in Op(G)$ реализуется в рамках действий клиента, т.е. относится к подсистеме «внешняя среда» (S_1).
2. $Op2 \in Op(G)$ реализуется в рамках подсистемы «отдел продаж» (S_2).
3. $\{Op3, Op5\} \in Op(G)$ реализуется в рамках подсистемы «операционный отдел» (S_3).
4. $Op7 \in Op(G)$ реализуется в рамках подсистемы «отдел закупок» (S_4).
5. $\{Op4, Op8, Op9, Op10, Op11\} \in Op(G)$ реализуется в рамках подсистемы «склад» (S_5).
6. $\{Op6, Op12\} \in Op(G)$ реализуется в рамках подсистемы «транспортный отдел» (S_6).

Графовое представление подобного переход от ($L=0$) уровня к ($L=1$) уровню изображено на рис. 2.9 (с целью упрощения на рисунке отображены только элементы $Op(G)$).

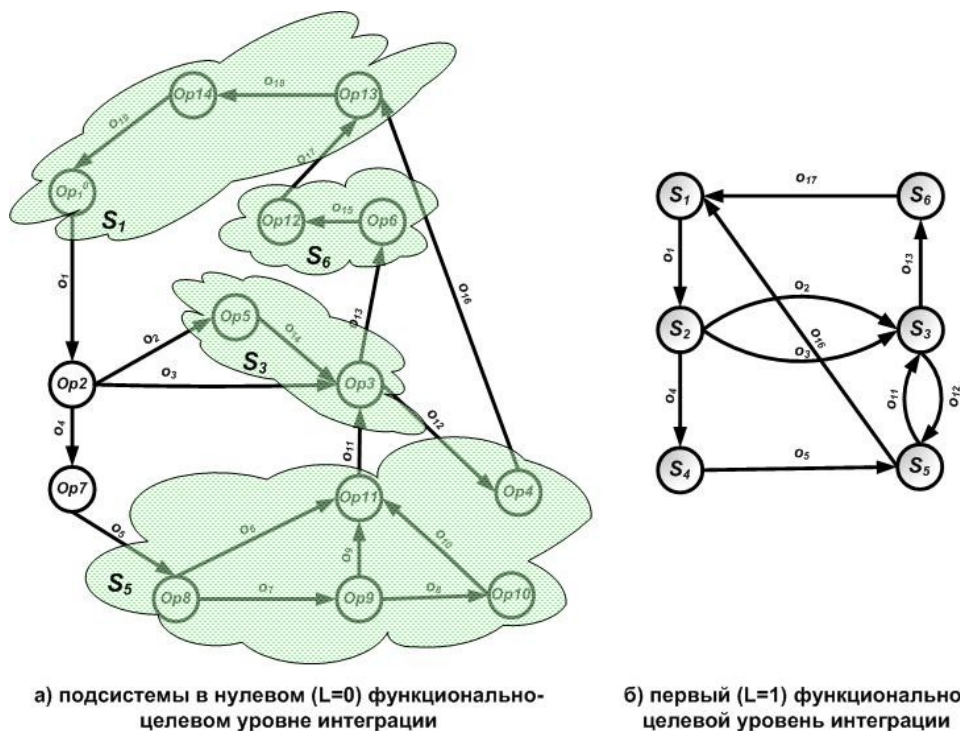


Рис. 2.9. Упорядочение графа G образа модели по принципу выделения функционально-целевых уровней интеграции (0 и 1 уровни).

$Op2 \in Op(G)$ и $Op7 \in Op(G)$ в общем случае можно рассматривать как подсистемы, состоящие из одного элемента.

Второму ($L=2$) функционально-целевому уровню интеграции соответствует интеграция некоторого множества подсистем $\{S_k; k \in \{1, n_k\}; S_k \in S\}$ первого ($L=1$) функционально-целевого уровня интеграции в комплексы подсистем $Z^p = \langle \{S_k; k \in \{1, n_k\}; S_k \in S\}, \{W_{\alpha}^{ij}; i, j \in \{1, n_i\}; i \neq j; \alpha \in \{1, n_i^{\alpha}\}\} \rangle$. Для примеров на рис.2.7. и рис.2.9 следующие подсистемы объединяются в комплексы:

1. Подсистемы «отдел продаж», «операционный отдел» и «отдел закупок» ($\{S_2, S_3, S_4\} \in S$) объединяются в комплекс «административно-хозяйственное управление» Z^1 .
2. Подсистемы «склад» и «транспортный отдел» $\{S_5, S_6\} \in S$ объединяются в комплекс «управление логистики» Z^2 .
3. Комплекс Z^3 «внешняя среда» ($S_1 \in S$) состоит из одной одноименной подсистемы $S_1 \in S$.

Графовое представление подобного переход от ($L=1$) уровня к ($L=2$) уровню изображено на рис.2.10.

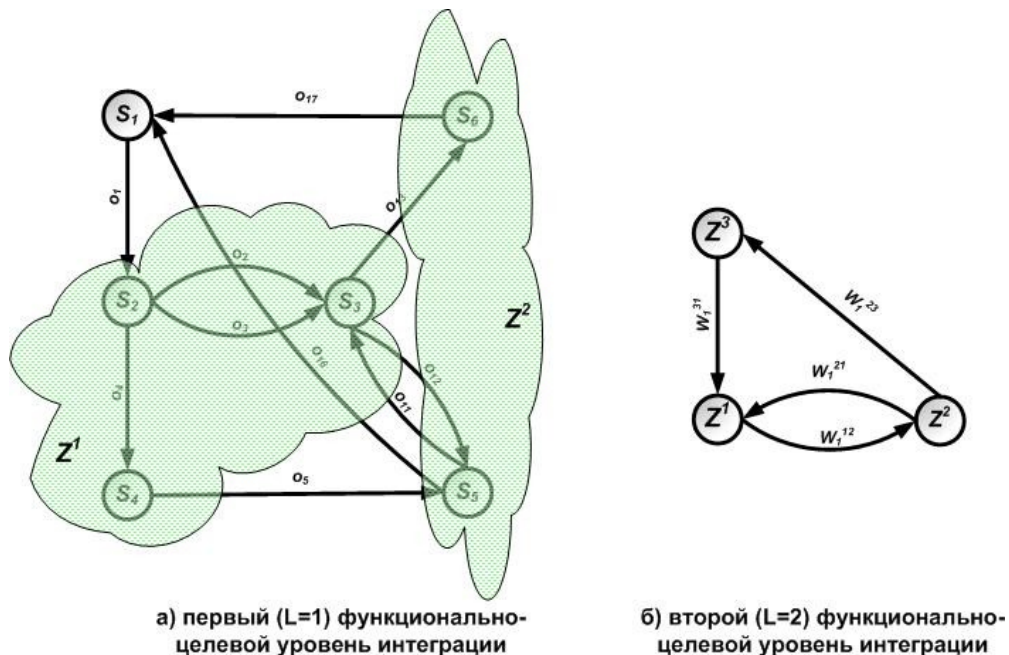


Рис. 2.10. Упорядочение графа G образа модели по принципу выделения функционально-целевых уровней интеграции (1 и 2 уровни).

Уровню $L \geq 3$ функционально-целевому уровню интеграции соответствует интеграция следующих объектов:

1. Подсистемы: $\{S_k; k \in \{1, n_k\}; S_k \in S\}$.
2. Комплексы (L) уровня: $\{Z_{L=a}^p; a \in \{2, L-2\}; p \in \{1, n_p\}\}$.
3. Комплексы Z_{L-1}^l (L-1) уровня, непосредственно входящих в комплексы

$Z_L^m = \langle \{S_k; k \in \{1, n_k\}; S_k \in S\}, \{Z_{L=a}^p; a \in \{2, L-2\}; p \in \{1, n_p\}\}, \{Z_{L-1}^l; l \in \{1, 2, \dots\}\} \rangle (L)$
уровня интеграции.

2.3.5. Объединение нескольких условий запуска в одну процедуру

Все сходные условия запуска Ca_i для разных процессов Op_i могут обобщены до одной общей функции (процедуры) с параметрами.

Рассмотрим МППР, при котором происходит контроль наличия уровня входных ресурсов Res_i и процесс Op_i пополнения его из внешней среды ресурсом Res_i' , например, путем приобретения заготовок или топлива у поставщика (рис. 2.11).

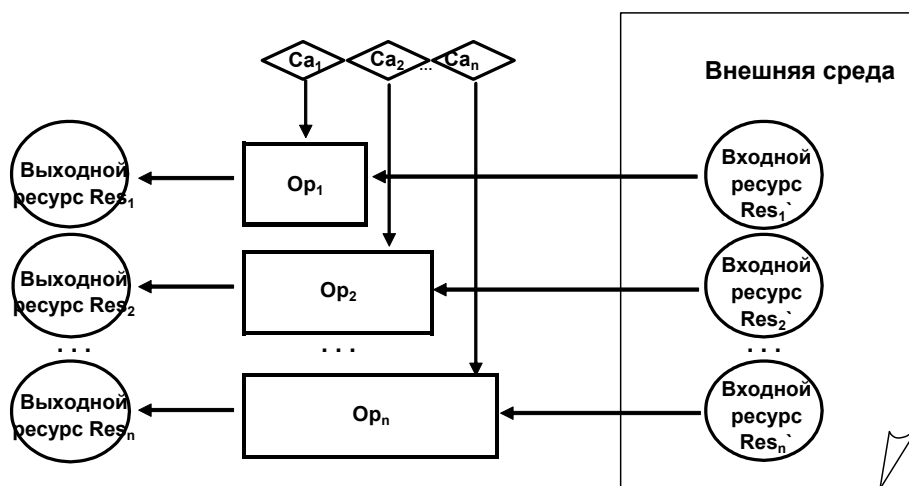


Рис. 2.11. Процессы МППР ресурсной части.

Работа схемы осуществляется путем проверки условием запуска Ca_i некоего параметра (уровня входного ресурса Res_i) и при определенных

условиях (снижение уровня ресурса до определенного уровня $Res_i \leq Res_{min}$) дает сигнал на выполнение процесса преобразования ресурса Op_i .
Правило проверки может быть записано в следующем виде:

Получить значение Res_1, Res_{1_min}

IF ($Res_1 \leq Res_{1_min}$) THEN (Запуск Op_1)

Получить значение Res_2, Res_{2_min}

IF ($Res_2 \leq Res_{2_min}$) THEN (Запуск Op_2)

...

Получить значение Res_n, Res_{n_min}

IF ($Res_n \leq Res_{n_min}$) THEN (Запуск Op_n)

Процедура свертки заключается в том, что выделяется само условие проверки в отдельный блок (процедуру), обращение к которой может получить любой блок модели (рис.2.12).

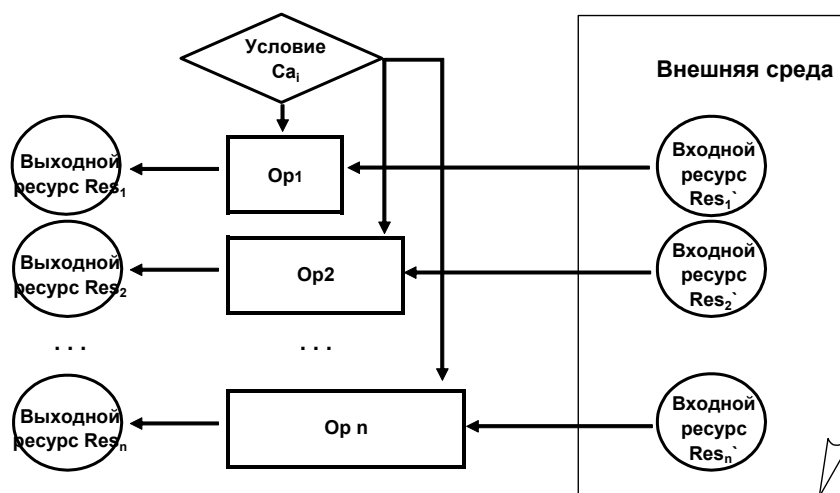


Рис. 2.12. Процессы МППР ресурсной части после свертки.

В результате свертки правило проверки будет записано в следующем виде:

УСЛОВИЕ(Res_1, Res_{1_min}, Op_1)

УСЛОВИЕ(Res_2, Res_{2_min}, Op_2)

...

УСЛОВИЕ(Res_n, Res_{n_min}, Op_n)

...

ПРОЦЕДУРА УСЛОВИЕ(Res, Res_{min}, Op)

IF (Res ≤ Res_{min}) THEN (Запуск Op)

2.3.6. Свертка условий запуска операций

Рассмотрим практическую реализацию процедуры свертки на примере имитационной модели элементарной операции процесса преобразования ресурсов Op_k , которой соответствует структура (2.2).

Если при проверке условия запуска $Ca(t)$ хотя бы один из его компонентов $C_a^i(t) \in [C_a^{in}(t), C_a^{out}(t), C_a^u, C_a^{mech}(t), C_a^{status}(t), C_a^{time}(t)]$ постоянно имеет значение $C_a^i(t) = true$ для заданного диапазона входных данных модели на всем интервале модельного времени (т.е. нет простоя операции до ожидания готовности $C_a^i(t)$), тогда можно отключить процедуру проверки готовности компонента $C_a^i(t)$. Такой прием назовем *сверткой условий запуска* [68].

Для выявления множества операций $\{Op_{sv}\}$, для которых можно применить свертку условий запуска, предлагается дополнить структуру $C_a(t) = C_a^{in}(t) \wedge C_a^{out}(t) \wedge C_a^u \wedge C_a^{mech}(t) \wedge C_a^{status}(t) \wedge C_a^{time}(t)$ флагами состояния, соответствующие компонентам условия запуска: *idle_in*, *idle_out*, *idle_u*, *idle_mech*, *idle_status*, *idle_time*. Флаг принимают значение «1», если операция хотя бы раз ожидала готовности соответствующего компонента и «0», если такого ожидания не было. Флаги состояния анализируются для заданного диапазона входных данных модели на всем интервале модельного времени и рекомендуются к использованию в период опытной эксплуатации для выявления операций МППР с заданными характеристиками. На этапе эксплуатации новой модели флаги состояния из модели убираются вместе с процедурами проверки готовности для найденных операций МППР.

В результате применения процедуры свертки условий запуска структура

$$C_a(t) = C_a^{in}(t) \wedge C_a^{out}(t) \wedge C_a^u \wedge C_a^{mech}(t) \wedge C_a^{status}(t) \wedge C_a^{time}(t)$$

упрощается. Например, для операции, которая выполняется без ожидания готовности входов, выходов и средств, условие запуска будет иметь сокращенный вид:

$$C_a(t) = C_a^u \wedge C_a^{status}(t) \wedge C_a^{time}(t)$$

Модель с использованием процедуры свертки условий запуска будет обладать следующими преимуществами: уменьшается размерность модели, уменьшается нагрузка на вычислительную технику и (снижается вычислительная стоимость модели).

2.3.7. Свертка массива очереди заявок

Модель обслуживания заявок описана в п.2.2. и имеет следующие основные элементы: элементы процессов преобразования ресурсов и очередь заявок. Для хранения переменных очереди заявок резервируется соответственно b_{name} , b_{count} , b_{real} , b_{lock} , b_{owner} , b_{parent} , b_{prior} , b_{create} , b_{wait} байт памяти.

В процессе работы имитационной модели размер массива заявок (количество записей) в любой момент времени составляет $k(t)$. Таким образом, в любой момент времени требуемый размер оперативной памяти $O(t)$ для массива заявок составит:

$$O(t) = k(t) \cdot (b_{name} + b_{count} + b_{real} + b_{lock} + b_{owner} + b_{parent} + b_{prior} + b_{create} + b_{wait}) \quad (2.4)$$

Очевидно, что мероприятия по увеличению производительности обработки массива заявок и снижению машинных ресурсов могут проходить в следующих направлениях:

1. Уменьшение объема занимаемой оперативной памяти элементом массива заявок.
2. Уменьшение количества записей в массиве заявок.

Рассмотрим методику увеличения производительности обработки массива заявок за счет уменьшения в нем количества записей.

Обычно в научной литературе сигналы о потерянных заявках не анализируются и разработчиков моделей не интересуют, разве что в качестве дополнительного статистического материала. В то же время использование информации о потерянных заявках позволяет реализовать процедуру свертки, уменьшающей размерность массива обслуживания заявок. Суть процедуры свертки заключается в следующем: заявки, для которых время ожидания в очереди t_{wait} меньше времени высвобождения ресурсов или средств преобразования, изначально не попадают в накопитель для хранения:

$$t_{wait(j)} < MAX(\{t_{use}^{mech}\}, \{t_{use}^{res}\}), \quad (2.5)$$

где: $t_{wait(j)}$ - время ожидания в очереди j -й заявки; $\{t_{use}^{mech}\}$ - множество времен в работе всех средства преобразования ресурсов, необходимых для выполнения j -й заявки; $\{t_{use}^{res}\}$ - множество времен в работе всех ресурсов, необходимых для выполнения j -й заявки.

Такой прием назовем *сверткой очереди заявок*.

Для любого момента времени обозначим через $k_{work}(t)$ – количество заявок, подлежащих исполнению и через $k_{out}(t)$ – количество потерянных заявок, при этом $k(t) = k_{work}(t) + k_{out}(t)$. Тогда формулу (2.5) можно представить в следующем виде:

$$O(t) = (k_{work}(t) + k_{out}(t)) \cdot (b_{name} + b_{count} + b_{real} + b_{lock} + b_{owner} + b_{parent} + b_{prior} + b_{create} + b_{wait}) \quad (2.6)$$

Таким образом, после применения свертки очереди заявок мы получаем, для любого момента времени, уменьшение объема занимаемой памяти массива заявок на следующую величину $O_{sv}(t)$:

$$O_{sv}(t) = k_{out}(t) \cdot \sum_{i=1}^n byte_i$$

Время отклика массива заявок складывается из следующих составляющих:

$$T_{откл} = T_{поиск} + T_{R/W},$$

где: $T_{\text{ОТКЛ}}$ – время отклика массива заявок – промежуток времени от момента запроса к массиву до фактического получения данных, $T_{\text{ПОИСК}}$ – время поиска нужной заявки в массиве размерностью $k(t)$, $T_{R/W}$ – время чтения / записи данных.

Обозначив через t_{cp} - время одного сравнения сможем рассчитать максимальное время отклика массива заявок в любой момент времени:

$$T_{\text{ОТКЛ}} = t_{cp} \cdot k(t) + T_{R/W}$$

Поиск необходимого элемента в очереди заявок модели МППР реализован с помощью функции выбора сообщений *SelectAllMessage*. При этом максимальное число сравнений будет равно числу элементов массива заявок, т.е. $k(t)$.

Применяя свертку очереди заявок уменьшаем размерность массива заявок на $n(t)$ элементов, что позволит снизить максимальное число сравнений до величины $k(t)-n(t)$. Максимальное время отклика массива заявок уменьшится до величины:

$$T_{\text{ОТКЛ}} = t_{cp} \cdot (k(t) - n(t)) + T_{R/W}$$

Модель с использованием процедуры свертки очереди заявок будет обладать следующими преимуществами:

- 1. Уменьшается время отклика на запрос в массиве, предназначенного для хранения заявок, т.е. увеличивается быстродействие модели.*
- 2. Уменьшается длительность одного эксперимента, по сравнению с исходной моделью.*

2.4. Виды синтеза и разработка концептуальной модели предметной области реинжиниринга модели МППР

Анализ системы в рамках решения задач управления предприятием подразумевает под собой построение аналитиком различных моделей (представлений) системы, отражающих требуемые аспекты ее поведения.

Синтез построенных моделей направлен на получения альтернативных вариантов развития системы путем объединения в единый вариант различных подмножеств элементов модели. Будем различать следующие типы синтеза [4]:

- параметрический синтез, при котором исходная модель преобразуется в ряд моделей путем изменения значений отдельных параметров модели;
- структурный синтез, при котором новые модели образуются из исходной путем изменения структуры модели согласно правилам;
- смешанный синтез, подразумевающий выполнение структурного и параметрического синтеза.

Смешанный синтез модели представляет особый интерес, поскольку обеспечивает аналитика методикой прогнозирования развития модели при рассмотрении модели с различных ракурсов, что обеспечивает полноту проводимого синтеза.

Схема проведения смешанного синтеза представлена на рис. 2.13. Результатом смешанного синтеза является построение дерева моделей, требующих проведения экспериментов и анализа результатов моделирования с целью выявления наиболее эффективного варианта развития системы. Таким образом, полученные в результате смешанного синтеза модели являются планом общего эксперимента по принятию решений в области управления бизнес-системами и организационно-техническими системами (ОТС).

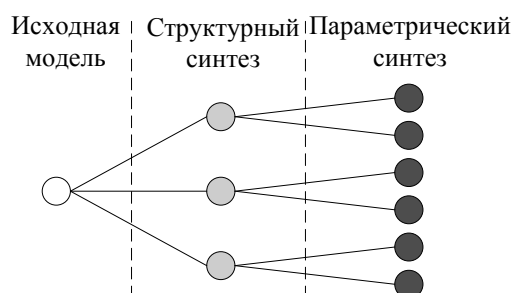


Рис. 2.13. Схема проведения смешанного синтеза.

Концептуальная (содержательная) модель — это абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства её элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования. Другими словами, концептуальная модель S_k — это множество понятий и связей между ними, являющихся смысловой структурой рассматриваемой предметной области:

$$S_k = \langle A, R \rangle, \quad (2.7)$$

где A — множество объектов предметной области;

R — множество отношений, связывающих объектов.

Для сложных организационно-технических систем стадия концептуального анализа или структурирования знаний является «узким местом». На данном этапе проводится содержательный анализ предметной области, выявляются используемые понятия и их взаимосвязи, определяются методы решения поставленных задач. Существует два подхода к процессу построения концептуальной модели предметной области: признаковый (атрибутивный) подход и когнитивный. Признаковый подход предполагает представление данных исследуемой области в виде троек «объект—атрибут—значение атрибута», когнитивный подход предполагает выделение элементов предметной области, их взаимосвязей и семантических отношений [83].

В модели МППР используется фреймово-семантическая модель представления знаний Швецова А.Н.. Швецов А.Н. в [83] предложил совместить фреймоподобные структуры с конструкциями концептуальных графов J.F. Sowa [108-110]. Основная конструкция фрейм-концепта (ФК) представлена формулой 2.8. Имя фрейма является уникальным идентификатором, позволяющим однозначно определить фрейм. Информация о применении ФК представляет собой описание возможных ситуаций использования ФК, сценариев поведения, особенностей выбора и т.п. в произвольной форме. Динамическое поведение компонентов или агентов предметной области описывает структура сценариев поведения

(ССП), в которую включен блок выбора сценария (БВСЦ), позволяющий формировать альтернативные пути поведения данного фрейма.

Структура слотов (ССЛ) состоит из двух структур: структуры концептов (СК) и структуры атрибутов (САтр). СК содержит список фрейм-концептов, в некотором отношении вложенных или порожденных охватывающим ФК, тип этого отношения указывается в поле «тип концептуального отношения», т.е. отношение данного $ИК_i$ к ФК, где $ИК_i$ – имя i -го концепта. Для установления логической организации предметной области ФК соединяются в структуры концептуальных графов. Концептуальный граф (КГ) есть двудольный граф, имеющий два типа вершин: вершины концептов, или концептуальные вершины, и вершины концептуальных отношений (КО). Таким образом, Швецовым предлагается использовать фреймово-семантическое представление знаний, которая выглядит следующим образом:

$$ФК = \langle ИФ, ТФ, ИП, ССП, ССЛ \rangle, \quad (2.8)$$

$$ССЛ = \langle СК, САтр \rangle, \quad (2.9)$$

$$СК = \{(ИК_1, КО_1), (ИК_2, КО_2), \dots, (ИК_n, КО_n)\}, \quad (2.10)$$

$$САтр = \{(ИАтр_1, МО_1, ЗА_1), (ИАтр_2, МО_2, ЗА_2), \dots, (ИАтр_m, МО_m, ЗА_m)\}. \quad (2.11)$$

где $ИФ$ – имя фрейма, $ТФ$ – тип фрейма, $ИП$ – информация о применении, $ССП$ – структура сценария поведения, $ССЛ$ – структура слотов, $СК$ – структуры концептов, $САтр$ – структуры атрибутов, $ИК_n$ – имя концепта, $КО_n$ – концептуальное отношение, $ИАтр_m$ – имя атрибута, $МО_m$ – множество определения, $ЗА_m$ – значение атрибута.

Достоинства фреймово-семантического подхода: эффективно реализует иерархическое представление данных, хорошо сочетается с ООП, техническая реализация данной модели представления знаний на уровне реляционной БД решена в работе [10].

Концептуальная модель предметной области визардов анализа и синтеза моделей содержит следующие элементы:

$KMPO_{wizard} = \{Wizard, User, MPPR, ExpertModel, Exp, ExpOut, Analysis, AnalysisOut, Synthesis, SynthesisOut\}$, где

- *Wizard* – множество визардов, разработанных пользователями;
- *User* – множество пользователей, имеющих различные права по созданию, изменению и удалению конкретного визарда;
- *MPPR* – множество элементов модели МППР;
- *ExpertModel* – множество элементов экспертной модели;
- *Exp* – множество экспериментов с моделью МППР;
- *ExpOut* – множество элементов результата эксперимента;
- *Analysis* – множество правил анализа моделей;
- *AnalysisOut* – множество элементов результата анализа;
- *Synthesis* – множество правил синтеза моделей;
- *SynthesisOut* – множество элементов результата синтеза.

Множество элементов модели МППР представляет собой набор:

$MPPR = \{PO, Type, POElem, TaskElem\}$, где

- *PO* – множество предметных областей анализа и синтеза МППР;
- *Type* – используемые справочники модели МППР;
- *POElem* – множество элементов предметных областей (ПрО);
- *TaskElem* – множество элементов моделей ПрО.
- Множество справочников представимо в виде:
- $Type = \{TypeRes, TypeMech, Measure\}$, где
- *TypeRes* – множество типов ресурсов;
- *TypeMech* – множество типов средств;
- *Measure* – множество единиц измерений.
- Множество элементов ПрО представляет собой набор:
- $POElem = \{Task, Res, Mech, Order\}$, где
- *Task* – множество моделей ПрО;
- *Res* – множество ресурсов ПрО;
- *Mech* – множество средств ПрО;

- *Order* – множество заявок (сигналов, сообщений) ПрО.

Множество элементов моделей ПрО имеет следующую структуру:

$TaskElem = \{TaskGoal, TaskNode, TaskNodeRes, Agent, AgentGoal, AgentSolutionIf, AgentSolutionThen, Tree_Agent, DataFlow, ScemeItem\}$, где

- *TaskGoal* – множество целей модели;
- *TaskNode* – множество операций модели;
- *TaskNodeRes* – множество условий запуска, входов и выходов операций;
- *Agent* – множество агентов модели;
- *AgentGoal* – множество целей агентов;
- *AgentSolutionIf* – множество условий «Если» агентов;
- *AgentSolutionThen* – множество условий «То» агентов;
- *Tree_Agent* – множество диаграмм деятельности агентов;
- *DataFlow* – множество переходов диаграмм деятельности;
- *ScemeItem* – множество состояний диаграмм деятельности.

Диаграммы деятельности языка UML используются для моделирования реактивного поведения агентов МППР и описывают переходы в рамках выполнения задачи, вызванные внутренними процессами. К основным элементам диаграммы деятельности относят: 1) состояния действия (action state), в которых определены внутренние действия, и которые имеют хотя бы один выходящий переход; 2) безусловные переходы, включающие в себя неявное событие завершение внутреннего действия; 3) условные переходы, включающие помимо завершения действия условия выполнения перехода.

Поведение реактивно-интеллектуальных агентов описывается продукционной базой знаний.

Моделирование интеллектуального поведения агентов МППР осуществляется при помощи продукционных правил «Если-То» и экспертной модели, имеющей следующий вид:

$ExpertModel = \{UseCaseDiagram, SearchSolutionDiagram\}$, где

- *UseCaseDiagram* – множество диаграмм прецедентов экспертной модели;
- *SearchSolutionDiagram* – множество диаграмм поиска решений экспертной модели.

Диаграммы поиска решений реализуют вывод на фреймовой экспертной системе. Таким образом, гибридные агенты МППР используют смешанную модель представления знаний.

2.5. Теоретическая основа метода реинжиниринга – операционный анализ вероятностных сетей

В разделе 2.2 была решена задача представления модели МППР сетью массового обслуживания. Для расчетов сетей массового обслуживания используется теория вероятностных сетей, которая основывается на марковских и полумарковских процессах [45], но большинство результатов получено только для экспоненциальных законов распределения. При количестве узлов сети больше трех для расчетов используются численные приближенные методы. **Операционный анализ** [50] в отличие от теории массового обслуживания опирается на логику работы рассматриваемой или моделируемой системы. Это позволяет установить простые зависимости между параметрами и показателями работы системы, не абстрагируясь от процессов ее функционирования [75].

Операционный анализ вероятностных сетей базируется на следующих принципах [75]:

- все предположения относительно операционных переменных можно проверить измерениями на реальной системе или на ее модели;
- в системе должен существовать баланс потоков: количество требований, которые покинули систему за некоторый период наблюдения,

должно равняться количеству требований, которые поступили в систему за этот же период;

– переходы требований от одного узла к другому не должны зависеть от длин очередей в узлах.

Рассматриваемая система должна работать в установившемся, а не в переходном режиме. Основная задача операционного анализа вероятностных сетей состоит в определении таких показателей, как среднее время пребывания требований в отдельных узлах сети, загрузка устройств в узлах, средние длины очередей к узлам [75].

Основные операционные переменные, которые можно получить или измерениями, или в процессе ИМ системы следующие [75]:

$q_{0j}(j = \overline{1, K})$ – вероятность (частота) поступления требований в сеть извне к любому узлу (K –общее количество узлов);

$q_{kj}(j = \overline{1, K})$ – вероятность перехода требований из узла k к узлу j ($k = \overline{1, K}, j = \overline{1, K}$);

q_{k0} – вероятность того, что после окончания обслуживания в узле k требования покинут сеть;

$A_k(k = \overline{1, K})$ – количество требований, которые поступили в узел k ;

$C_{kj}(k = \overline{1, K}, j = \overline{1, K})$ – количество требований, которые покинули узел k и поступили в узел j ;

$B_k(k = \overline{1, K})$ – общее время обслуживания требований узлом k .

T – общее время наблюдения за системой или время моделирования.

Наиболее часто используют следующие **выводимые операционные переменные** [75]:

$$U_k = \frac{B_k}{T} \quad (2.12)$$

где U_k – коэффициент использования узла;

$$S_k = \frac{B_k}{C_k} \quad (2.13)$$

где S_k – среднее время обслуживания в узле k ;

$$X_k = \frac{C_k}{T} \quad (2.14)$$

где X_k – интенсивность выходящего потока требований из узла k ;

$$q_{kj} = \begin{cases} \frac{c_{kj}}{c_k}, k = \overline{1, K} \\ \frac{A_{0j}}{A_j}, k = 0 \end{cases} \quad \sum_{k=1}^K q_{kj} = 1 \quad (2.15)$$

где q_{kj} – относительная частота перехода требований между узлами k и j .

Из выражений (2.12 – 2.14):

$$U_k = X_k S_k \quad (2.16)$$

Среднее время пребывания требования в вероятностной сети обозначается через R , а для отдельных узлов – через R_k . Операционная переменная – W_k равняется суммарному времени ожидания и времени обслуживания требования узлом k на протяжении времени T [75]:

$$R_k = \frac{W_k}{c_k} \quad (2.17)$$

Среднее время пребывания в системе выражается через R_k и коэффициенты посещаемости отдельных узлов [75]:

$$R = \sum_{k=1}^K V_k R_k \quad (2.18)$$

Это общий **закон времени пребывания**, который справедлив и в том случае, если гипотеза о балансе потоков не выполняется. Среднее количество требований в сети N , которое определяется через среднее количество требований в каждом узле n_k , равно [75]:

$$N = \sum_{k=1}^K n_k \quad (2.19)$$

где n_k – выводимая операционная переменная:

$$n_k = \frac{W_k}{T} \quad (2.20)$$

Для среднего времени пребывания требований в сети справедлив **закон Литтла** [75]: среднее время пребывания в устройстве k определяется через среднее количество требований в устройстве и интенсивность потока

$$R_k = \frac{n_k}{x_k} \quad (2.21)$$

В [75] показано, как можно использовать операционный анализ для определения времени пребывания в замкнутой сети (рис. 2.14). Пусть есть M устройств, время обслуживания требования любым из них – Z . Среднее время пребывания требования в сети определяем по формуле

$$R = \frac{M}{x_0} - Z \quad (2.22)$$

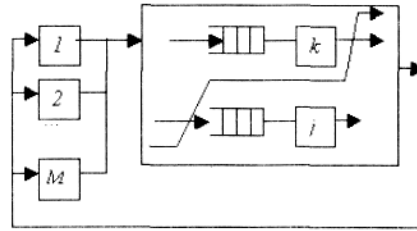


Рис. 2.14.

Среднее время одного цикла взаимодействия, включая время обслуживания требования во внешней сети и пребывание в одном из M устройств, определяется суммой $Z + R$. Если предположить, что выполняется гипотеза о балансе потоков, то для рассматриваемого цикла справедлива формула Литтла. Поэтому величина $(Z + R)X_0$ должна определять среднее количество занятых устройств или среднее количество работающих устройств для системы с отказами. Таким образом, общее количество устройств [75]:

$$M = (Z + R)X_0 \quad (2.23)$$

Поиск узких мест в сети является важным аспектом анализа ее работы. Узкое место создается тем узлом сети, у которого коэффициент загрузки U приближается к единице. В этом узле образуется большая очередь, которая при $U \geq 1$ становится бесконечной, и сеть переходит в неустойчивый режим работы. Такой узел становится «насыщенным» требованиями. **Узкие места в сети обуславливают ее пропускную способность, то есть полностью определяют время пребывания в сети [75].**

Узкое место определяет пропускную способность сети. Рассмотрим трубопровод, в котором есть трубы разного диаметра, доставляющие воду потребителю. Если после трубы маленького диаметра поставить трубу с любым большим диаметром, то потребитель не получит большего количества воды за единицу времени, чем ее может пропустить узкая труба. Это – так называемый эффект «узкого горлышка». Поэтому при рассмотрении таких систем важно иметь сбалансированные потоки в сети, то есть такой баланс потоков в узлах, при котором *среднее время пребывания в сети было бы минимально* или ее *пропускная способность максимальна* [75].

С точки зрения применения операционного анализа вероятностных сетей к МППР при анализе узких мест необходимо анализировать следующие параметры:

1. **Коэффициент использования узла** (узлам соответствуют *операции* и *агенты*, также необходимо анализировать коэффициент использования *средства*).
2. **Среднюю длительность нахождения заявки в очереди к операции, агенту** (размер очереди заявок к операции Q_{Op_cp} , средняя очередь заявок к правилу агента Q_{AgR_cp})
3. **Коэффициент посещаемости узла и среднюю длительность обработки требования в узле.**

Таким образом, операционный анализ вероятностных сетей СМО можно эффективно применять при анализе узких мест метода реинжиниринга.

2.6. Алгоритм проведения реинжиниринга модели МППР (анализа и структурного синтеза модели)

Рассмотрим исходную модель МППР (бизнес-системы / ОТС) M_0 , предназначенную для анализа процессов, протекающих в системе. В результате проведения эксперимента формируется статистика выполнения операций, функционирования агентов, расходования и формирования ресурсов и заявок, и использования средств в операциях.

Для оценки выполнения операции Op рассмотрим следующие ее параметры: среднюю очередь заявок к операции Q_{Op_cp} , среднюю загруженность операции U_{Op_cp} , простой операции из-за отсутствия средств P_{MechOp} , простой операции из-за отсутствия входных ресурсов P_{ResOp} :

$$Q_{Op_cp} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{END}} Q_{op}(t)}{T_{END}},$$

$$U_{Op_cp} = \frac{(N \cdot T_{OP})}{T_{END}},$$

$$P_{MechOp} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{END}} Tact(t) | Count_Mech_UnLock(t) < Count_Mech_Use}{T_{END}},$$

$$P_{ResOp} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{END}} Tact(t) | Count_Res(t) < Count_Res_In}{T_{END}},$$

где T_{END} – время окончания моделирования,

$Round$ – функция взятия целой части вещественного числа,

N – количество выполнений операции Op за время моделирования T_{END} ,

T_{OP} – длительность выполнения операции Op ,

$Tact$ – машинный такт имитации модели,

$Count_Mech_UnLock$ – количество единиц средства, не заблокированное при выполнении текущих операций,

$Count_Mech_Use$ – количество единиц средства, необходимое для запуска операции Op ,

$Count_Res$ – текущее количество единиц ресурса,

$Count_Res_In$ – количество единиц ресурса, необходимое для запуска операции Op .

Аналогично оценке очереди проводится оценка среднего состояния ресурсов (как входных, так и выходных по отношению к определенной операции или правилу агента).

Для оценки использования средства в операциях модели рассмотрим среднюю загрузженность средства U_{Mech_cp} :

$$U_{Mech_cp} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{END}} Count_Mech_Lock(t)}{Count_Mech \cdot T_{END}},$$

где $Count_Mech_Lock$ – количество единиц средства, заблокированное при выполнении текущих операций,

$Count_Mech$ – общее количество единиц средства.

Статистику функционирования агента будем анализировать исходя из средней очереди заявок к агенту Q_{Ag_cp} и средней загрузженности агента по обработке заявок U_{Ag_cp} :

$$Q_{Ag_cp} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{END}} Q_{Ag}(t)}{T_{END}},$$

$$U_{Ag_cp} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{END}} Tact(t) | (\exists \langle MessOp \rangle \in \{AgSolutIf(t) \cup AgSolutThen(t)\}) \& (AgSolutIf(t) = True)}{T_{END}},$$

где $\langle MessOp \rangle$ – оператор обработки заявки (создание, удаление или блокировка заявки),

$AgSolutIf$ – условия агента «Если»,

$AgSolutThen$ – условия агента «То».

Значения выделенных выходных характеристик модели разбиваются **критическими точками** на интервалы, представленные на рисунке 2.14. Выделим следующие критические точки, определяемые пользователем: точки K_{Op1} – K_{Op8} для параметров выполнения операции, точки K_{Mech1} и

K_{Mech2} для параметров использования средства, точки K_{Ag1} – K_{Ag3} для параметров функционирования агента.

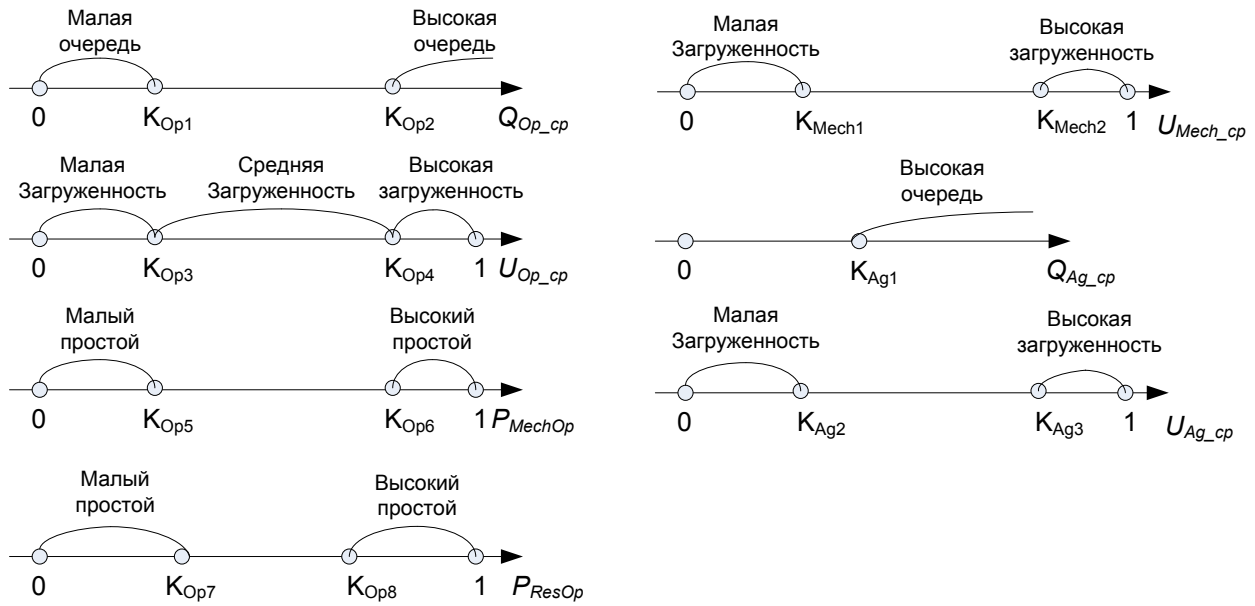


Рис. 2.14. Интервалы значений выходных характеристик модели.

Рассмотрим алгоритм проведения анализа и синтеза исходной модели M_0 , представленный в таблицах 2.1 и 2.2. Таблицы описывают правила анализа параметров модели и операторы синтеза, соответствующие применяемым правилам изменения модели.

Таблица 2.1 – Алгоритм синтеза модели на основе анализа параметров выполнения операции и использования средств

Анализ выходных параметров модели M_0					Правила изменения	Операторы синтеза
Очередь к операции	Коэффициент использования операции	Простой операции из-за средств	Простой операции из-за ресурсов*	Коэффициент использования средства в модели		
$Q_{Op_cp} = 0$	$U_{Op_cp} = 0$	$P_{MechOp} = 0$	$P_{ResOp} = 0$	Не имеет значения	Удаление параллельной операции	$DeleteParallelOp (Id_Op)$
Не имеет значения	Не имеет значения	Не имеет значения	Не имеет значения	$U_{Mech_cp} = 0$	Удаление средства из модели	$DeleteMechModel (Id_Md, Id_Mech, Count)$
$0 < Q_{Op_cp} \leq K_{Op1}$ (малая очередь)	$0 < U_{Op_cp} \leq K_{Op3}$ (малая загруженность)	$0 < P_{MechOp} \leq K_{Op5}$ (малый простой)	Не имеет значения	$U_{Mech_cp} \leq K_{Mech1}$ (нулевая и малая загруженность)	Уменьшение количества средства в модели	$DecreaseMech (Id_Mech, Count)$
		Не имеет значения		Удаление средства из операции	$DeleteMechOp (Id_Op, Id_Mech, Count)$	
		Не имеет значения		$0 < P_{ResOp} \leq K_{Op7}$ (малый простой)	Не имеет значения	Уменьшение начального количества ресурса в модели
$Q_{Op_cp} \geq K_{Op2}$ (высокая очередь)	$K_{Op3} < U_{Op_cp} < K_{Op4}$ (средняя загруженность)	$0 < P_{MechOp} \leq K_{Op5}$ (малый простой)	Не имеет значения	Не имеет значения	Добавление параллельной операции	$AddParallelOp (Id_Op)$
	$U_{Op_cp} < K_{Op4}$ (нулевая, малая и средняя загруженность)	Не имеет значения	$K_{Op8} \leq P_{ResOp} \leq 1$ (высокий простой)	Не имеет значения	Увеличение начального количества ресурса в модели	$IncreaseRes (Id_Res, Count, MaxCount)$
		$K_{Op6} \leq P_{MechOp} \leq 1$ (высокий простой)	Не имеет значения	Не имеет значения	Добавление средства в операцию	$AddMechOp (Id_Op, Id_Mech, Count)$
	$K_{Op4} \leq U_{Op_cp} \leq 1$ (высокая загруженность)	Не имеет значения		$K_{Mech2} \leq U_{Mech_cp} \leq 1$ (высокая загруз.)	Увеличение количества средства в модели	$IncreaseMech (Id_Mech, Count, MaxCount)$
		Не имеет значения		$K_{Mech2} \leq U_{Mech_cp} \leq 1$ (высокая загруз.)		
		Не имеет значения		Не имеет значения	Не имеет значения	Добавление параллельной цепочки операции

* простой операции из-за ресурсов может также наблюдаться в связи с тем, что количество ресурсов на выходе близко к максимально-возможному количеству (явление «затоварки» (заполненности) склада»)

Таблица 2.2 – Алгоритм синтеза модели на основе анализа параметров агента

Анализ выходных параметров модели M_0		Правила изменения модели	Операторы синтеза
Очередь заявок к агенту	Коэффициент использования правила агента		
$Q_{Ag_cp} \leq K_{Ag1}$ (малая очередь)	$U_{AgR_cp} = 0$ (нулевая загрузж.)	Удаление правила агента	<i>DeleteAgentRule</i> (<i>Id_Ag</i> , <i>Id_Rule</i>)
$Q_{Ag_cp} \geq K_{Agp2}$ (высокая очередь)	$U_{AgR_cp} \neq 0$ (ненулевая загрузж.)	Добавление правила агента	<i>AddAgentRule</i> (<i>Id_Ag</i> , <i>Id_Rule</i>)
$Q_{Ag_cp} > K_{Ag2}$ (высокая очередь)	$U_{AgR_cp} \leq M_l$ (низкая загрузженность)	Нужны параметрические изменения связанные с увеличением количества входных ресурсов, средств, и ограничений по выходным ресурсам (увеличение ёмкости склада – максимального количества ресурсов)	<i>IncreaseRes</i> (<i>Id_Res</i> , <i>Count</i> , <i>MaxCount</i>)
Ни одно из правил агента не было выполнено	$U_{Ag_cp} = 0$	Удалить агента	<i>DeleteAgent</i> (<i>Id_Ag</i>)

Рассмотрим представление описанного алгоритма проведения анализа и смешанного синтеза в виде графов поиска решений применения операторов синтеза (рис. 2.15). Вершины графа имеют следующие обозначения: 0 – нулевое значение, М – малое значение, С – среднее значение, В – высокое значение соответствующего объекта графа (очереди, загрузженности или простоя). Пунктирные линии переходов графа соответствуют решениям для нулевой и малой очередей заявок к операции, сплошные линии – решениям в оставшихся случаях.

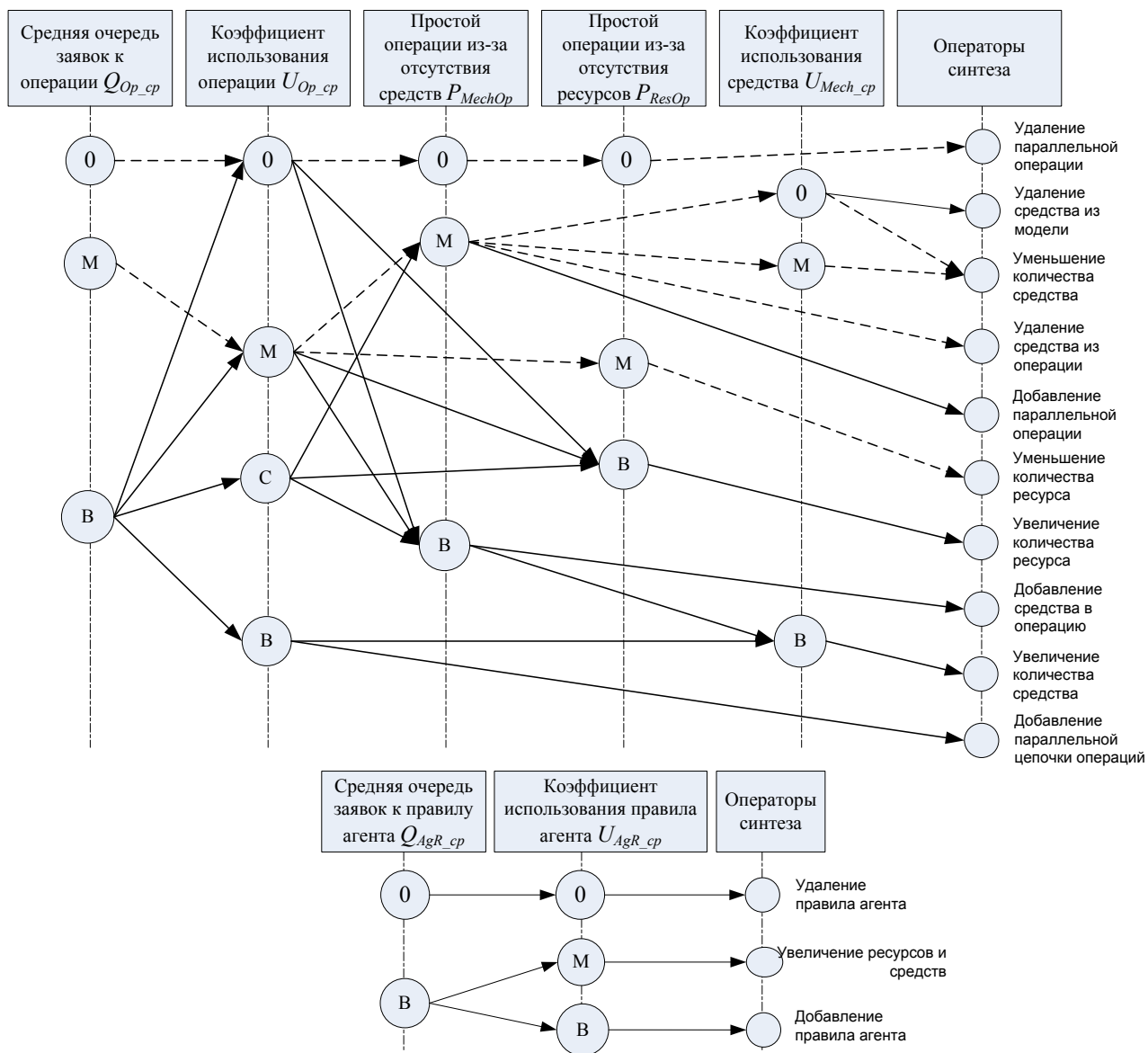


Рис. 2.15. Графы поиска решений применения операторов синтеза.

Результаты проведения синтеза хранятся в классе «Результаты синтеза». На основании данных выделенного класса осуществляется изменение структуры модели Ms (копии исходной модели M_0).

Рассмотрим пример реинжиниринга бизнес-процессов P1..P4, схема выполнения которых представлена слева на рис. 2.16. Задачу о выявлении узких мест функционирования такой системы удобно решать при помощи методов имитационного моделирования.

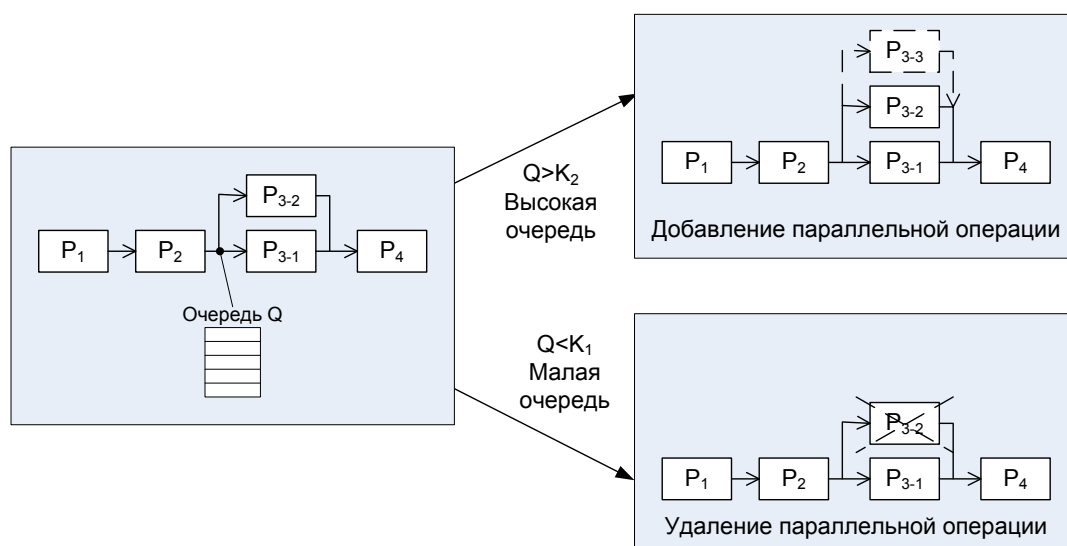


Рис. 2.16. Схема реинжиниринга узких мест организации бизнес-процессов.

Лицо, принимающее решение, в ходе имитации модели анализирует очередь Q из объектов системы, ожидающих обработки параллельными процессами P_{3-1} и P_{3-2} . В случае превышения значения очереди Q некоего порогового значения K_1 (что означает перегруженность блока P_3), принимается решение о добавлении параллельно к существующим нового процесса P_{3-3} , обеспечивающего приемлемые значения очереди Q и улучшенные показатели эффективности работы системы (справа вверху на рис. 2.16). В случае недобора значением очереди Q порогового значения K_2 (что означает простой блока P_3), принимается решение о ликвидации одного из параллельных процессов P_{3-2} (справа внизу на рис. 2.16). Анализируя, таким образом, зависимость показателей эффективности работы системы от структуры ее бизнес-процессов ЛПР находит наиболее эффективную организацию процессов системы.

Применение операционного анализа вероятностных сетей к мультиагентной модели позволило решить задачу уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР, путем построения модели СМО на основе результатов экспериментов модели МППР, с целью

быстрого решения задачи нахождения среднего количества работающих устройств (средств, согласно терминологии МППР).

Разработан алгоритм проведения реинжиниринга модели МППР (анализа и структурного синтеза модели). Исходная модель МППР (БП / ОТС) M_0 , предназначена для анализа процессов, протекающих в системе. В результате проведения эксперимента с моделью МППР формируется статистика выполнения операций, функционирования агентов, расходования и формирования ресурсов и заявок, и использования средств в операциях. По результатам анализа экспериментов диагностируются узкие места и принимается решение о свертке/развертке модели. Критерием остановки метода реинжиниринга мультиагентной модели ОТС является снижение времени ожидания до допустимых значений по всем блокам модели.

Элементарный акт реализации метода реинжиниринга будет иметь следующий вид:

$$SM \xrightarrow{Sv(i)} TM$$

где: SM – исходная модель (*source model*);

TM – новая (измененная) модель (*turned model*);

$Sv(i)$ – элементарное изменение $Sv(i) \in SV$, как способ воздействия на SM.

Таким образом, структурное изменение модели осуществляется либо удалением операции, либо добавлением параллельной операции, добавлением средства исполнения операции или ресурсов, добавлением или удалением правила агента, удалением агента. Пользователь может согласиться с предложенным изменением или отказаться от него.

На рис. 2.17 представлена блок-схема метода принятия решений задачи реинжиниринга модели МППР, которая может служить основой для подготовки соответствующей программной реализации.

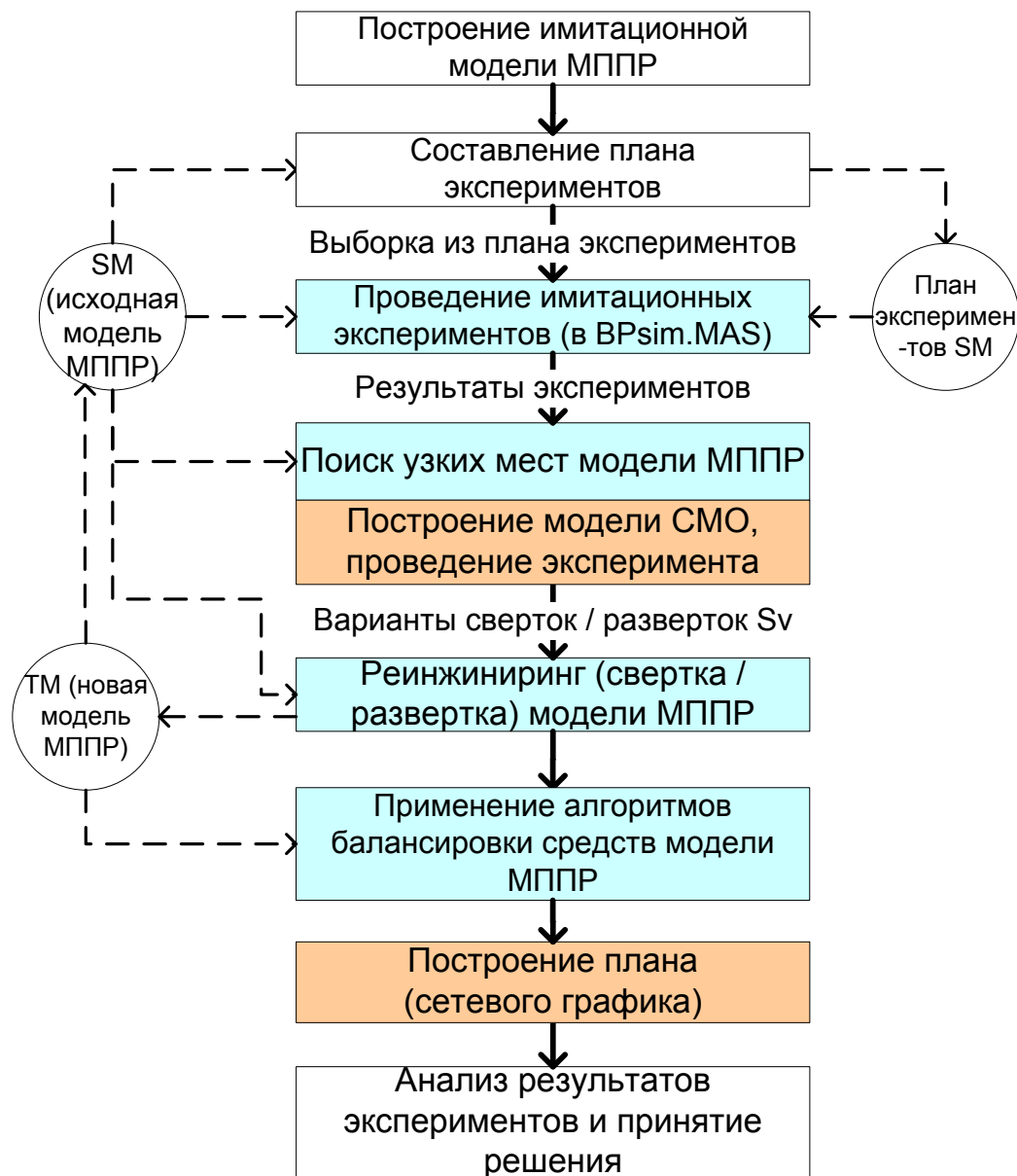


Рис. 2.17. Общая схема метода принятия решений задачи реинжиниринга модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов

Рассмотрим основные этапы метода. Метод проходил отладку при решении задачи моделирования деятельности строительного холдинга, результаты представлены в главе 4. Наиболее эффективно метод позволяет решать задачи планирования для предметных областей *строительства, управления проектами и производства на заказ*. Предлагаемый метод состоит из следующих этапов:

1. Построение имитационной модели (ИМ) МППР.

При построении ИМ строятся следующие подмодели:

- генерации объектов (*объектов строительства / проектов / заказов*), такой объект в модели МППР представим в виде экземпляра заявки (транзакта) с набором атрибутов;
- процессов прохождения объектов (*процессов строительства / этапов проекта / производственных операций*), в модели МППР маршрут обработки заявки формируется цепочкой блоков, состоящих из операций и агентов;
- поставок потребляемых ресурсов (*сырья, материалов и полуфабрикатов*), в модели МППР маршрут поставки ресурсов формируется цепочкой блоков, состоящих из операций и агентов;
- работы средств (*станки, оборудование, агрегаты, транспорт, персонал*);
- продаж, в модели МППР маршрут взаимодействия с клиентом формируется цепочкой блоков, состоящих из операций и агентов.

Подмодель прохождения объектов. Так, например, при построении подмодели строительства описывается модель типового объекта строительства, которая является параметрически настраиваемой и зависит от типа и свойств сгенерированного объекта (заявки). Так, отдельные блоки модели соответствуют этапам строительства. При поступлении в блок заявки (объекта строительства), в зависимости от ее параметров, происходит вычисление времени длительности этапа, количества потребляемых ресурсов и используемых средств.

Данные предметные области для моделирования набора объектов (*портфеля проектов, возводимых объектов строительства, портфеля производственных заказов*) диктует следующие специфические требования и соответствующие им правила построения ИМ (проиллюстрируем на примере строительства):

1) ограничение по объему субподрядных работ. В случае превышения ограничения на суммарные затраты данный объект строительства становится нерентабельным – проект может быть исключен из портфеля;

2) должна использоваться стратегия строительства объектов «первым пришел – первым вышел» т.к. задержки при строительстве отдельного объекта приводят к ряду дополнительных затрат, связанных с обеспечением проекта (охрана, электроэнергия и т.д.). Завершение процесса строительства объекта и, соответственно, сокращение его сроков, приводит к ускорению возврата инвестиций. В связи с этим, блоки модели должны применять выталкивающую стратегию для заявки «объект строительства» (приоритет блоков модели возрастает от начальных этапов строительства к завершающим);

3) для процесса строительства характерно параллельное во времени выполнение этапов разных работ. Работы (соответствующие блоки ИМ), относящиеся к критическому пути, должны иметь приоритет выше, чем у параллельных работ.

Данные требования предметной области и правила построения ИМ, также хорошо согласуются с выводами Дэйвиса [40]: «... правило упорядочения, в соответствии с которым первой выполняется работа с наименьшим резервом (или эквивалентное правило минимизации самого позднего времени начала), в среднем дает наилучший результат».

Для моделей БП и ОТС, в которых при недостатке собственных средств возможно привлечение субподрядчиков разработана подмодель субподряда на основе реактивных интеллектуальных агентов. Если применение субподрядчиков невозможно, то на шаге 7 могут быть использованы эвристические алгоритмы балансировки средств [3] для совершенствования модели МППР.

В подмодели субподряда возможны 2 варианта: 1) чужие средства привлекаются в случае нехватки своих на выполнение всей операции от

начала и до окончания; 2) на каждом последующем такте происходит пересмотр возможности отказа от привлечения субподряда [1]. ИМ с агентами субподряда характеризуется следующим: 1) при применении варианта 2 агентов субподряда время ожидания не увеличивается в виду недостатка средств, т.е. срок проекта по критерию использования средств минимален; 2) по результатам экспериментов можно скорректировать среднее количество своего парка средств и оценить максимальный объем привлечения субподряда; 3) в случае достижения требуемой пропускной способности модели и уменьшения времен ожидания до допустимых значений можно считать план обработки портфеля проектов идеальным (минимальным по срокам). Ограничения реальных проектов строительства: 1) не всегда допустимо применение субподряда; 2) объем привлечения субподряда имеет ограничения. Применение агентов субподряда позволяет только решить задачу узких мест на средствах мультиагентной модели. Для решения задачи анализа узких мест, возникающих на операциях и ресурсах, необходимо выполнение последующих шагов, завершающихся реинжинирингом мультиагентной модели.

2. Составление плана экспериментов.

Планирование эксперимента в соответствии с выдвинутыми гипотезами. При планировании, например, строительных работ могут быть использованы несколько разных моделей субподряда.

3. Проведение имитационных экспериментов.

Имитационные эксперименты проводятся в СДМС BPsim.MAS.

4. Поиск узких мест модели МППР.

При диагностике узких мест анализируются следующие параметры мультиагентной модели [1, 26]: 1) коэффициент использования операции, средства, агента; 2) среднее время заявки в очереди к операции, агенту; 3) простой операции из-за отсутствия средств и/или входных ресурсов. Для

оценки динамики работы операции и агента также анализируется средняя очередь заявок к операции, агенту, а также среднее состояние ресурсов.

На данном этапе осуществляется анализ структуры и параметров исходной модели SM и выявляется допустимость применения правил синтеза к тем или иным блокам исходной модели SM или ее параметрам.

5. Построение модели сети массового обслуживания (СМО), проведение эксперимента

Применение операционного анализа вероятностных сетей к модели МППР позволяет также решить задачу уменьшения количества экспериментов путем построения модели СМО на основе результатов экспериментов модели МППР [26], с целью быстрого нахождения среднего количества работающих устройств (средств МППР).

6. Реинжиниринг (свертка / развертка) модели МППР.

По результатам анализа статистики экспериментов диагностируются узкие места и принимается решение о свертке/развертке модели [1]. Критерием остановки реинжиниринга модели МППР является снижение времени ожидания до допустимых значений по всем блокам модели [26]. Данный этап направлен на решение задачи распараллеливания сетевых графиков параллельно возводимых во времени объектов строительства или проектов (в блоках ИМ могут возникать ситуации с параллельной обработкой заявок).

7. Применение алгоритмов балансировки средств модели МППР.

Если для задачи недопустимо привлечение субподрядчиков по отдельным видам средств, то для равномерности загрузки этих средств могут быть применены эвристические алгоритмы балансировки. Различные подходы балансировки средств модели МППР описаны в [3]. Эксперименты проводятся до нахождения эффективного решения.

8. Построение плана (сетевого графика).

По результатам имитационного эксперимента формируется сетевой график портфеля объектов. Критический путь для каждого отдельного

объекта (например, объекта строительства) определяется как выбор из параллельных цепочек работ, цепи, не имеющей запаса времени по результатам имитационного эксперимента. Оценка резерва времени для каждой работы выполняется автоматически. Так для параллельных цепочек (не относящихся к критическому пути) это будет резерв времени последней работы в цепи.

9. Анализ результатов экспериментов и принятие решения.

Данный этап зависит от предметной области и решаемой задачи. Так, например, для строительства может быть выполнена проверка соответствия бюджету портфеля проектов и срокам. Если сроки и бюджет портфеля проектов (портфель объектов строительства) удовлетворяет, то завершаем, иначе возвращаемся на шаг 7 или корректируем условия задачи и переходим на шаг 1.

Проверка адекватности новой модели. Проверка адекватности осуществляется на тестовых экспериментах путем сравнения результатов расчета новой модели *ТМ* с результатами эксперимента на изучаемом объекте и исходной модели *SM* (при одинаковых условиях). Это позволяет установить границы применимости новой модели *ТМ*.

2.7. Сравнение нового метода принятия решений задачи реинжиниринга с существующими

В качестве сравнения разработанного метода принятия решений задачи реинжиниринга с существующими выбраны следующие: 1) методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий Д.В. Александрова [20]; 2) методика реинжиниринга бизнес-процессов на основе интеграции методов структурного анализа, экспертных систем и формальных грамматик Е.П. Коннова.

Методология моделирования распределенных систем управления БП макропредприятий Д.В. Александра [20] ориентирована на решение задач моделирования БП, проектирования распределенной информационной системы и последующего мониторинга выполнения БП. Основные этапы данной методологии приведены на рис. 2.18.

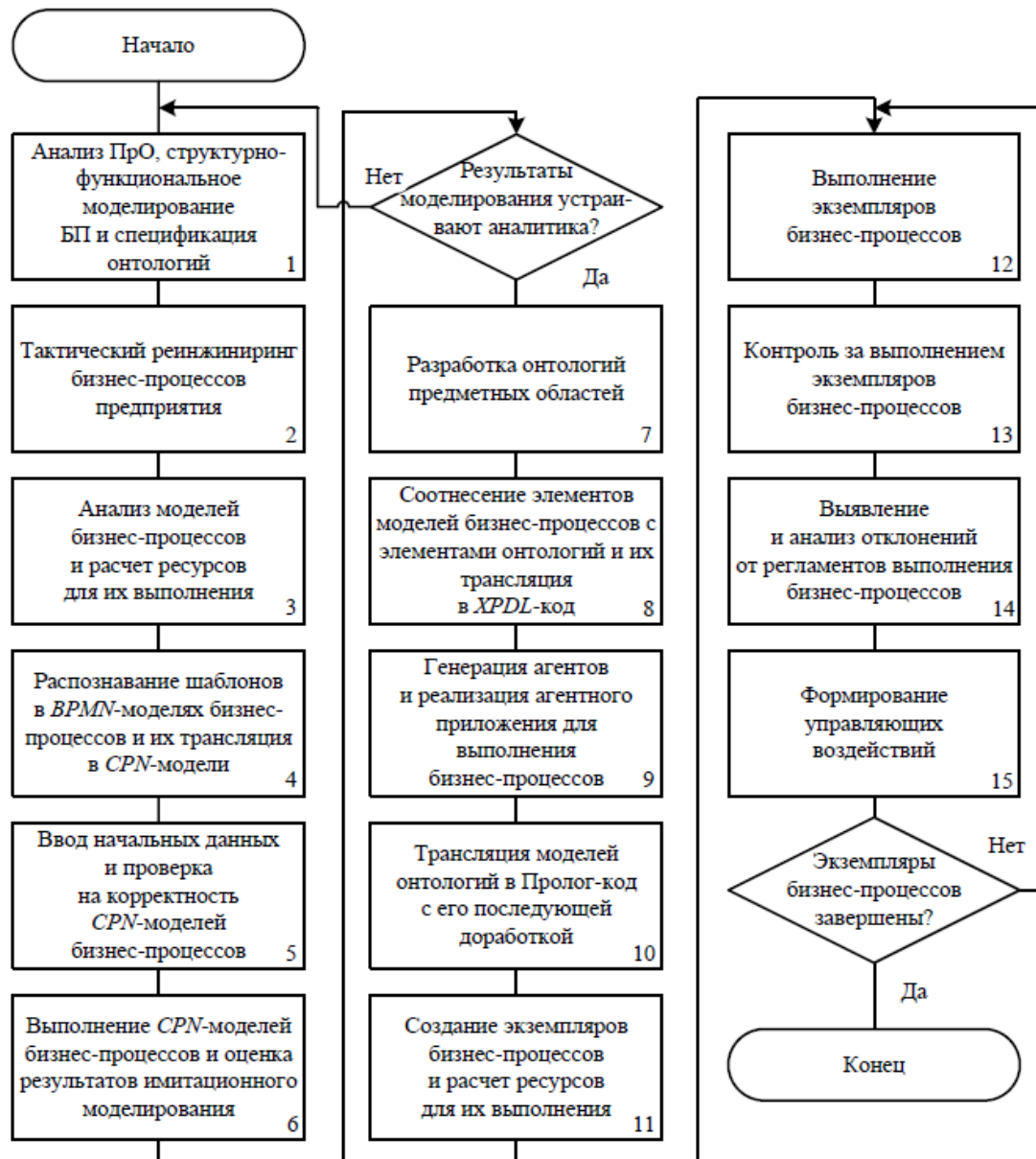


Рис. 2.18. Основные этапы методологии моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий [20]

В части сравнения метода принятия решений задачи реинжиниринга, анализ работы [20] позволяет выделить следующие недостатки данной методологии:

1. Оригинальная авторская методика «тактического реинжиниринга бизнес-процессов» не ориентирована на масштабные преобразования бизнес-модели предприятия, и использует моделирование структур на основе системы IDEF0-моделей. Данная методика в большей степени ориентирована на корректировку проекта организационной структуры и соответствующих документов (структурной схемы, штатного расписания, положения о структурных подразделениях, должностных инструкций, контрактов работников).

2. Этап методологии «Анализ моделей бизнес-процессов и расчет ресурсов для их выполнений» использует в своей основе подход «Bill of Material (BOM)» более применимый в оперативном управлении и программной реализации ERP-систем, чем для задач прогнозирования и имитационного моделирования.

3. В качестве аппарата имитационного моделирования используются раскрашенные сети Петри, к недостаткам которых в сравнении с выбранным методом ИМ МППР можно отнести следующее:

- ограничения по возможностям построения сложным моделей бизнес-систем/ОТС: 1) объекты, моделирующие ресурсы – «фишки» и их экземпляры не отличимые (не эквивалентны заявкам/транзактам СМО); 2) модели прерываний операций сложно реализовывать; 3) модели бизнес-процессов и ОТС реализуемые на основе раскрашенных сетей Петри тяжело анализировать;

- сложность формализации сценариев принятия решений (построения моделей ЛПР, работающих со знаниями), т.е. не поддерживаются модели интеллектуальных и реактивно-интеллектуальных агентов при имитационном моделировании БП/ОТС. Агентный подход применяется при проектировании распределенной программного приложения информационной системы управления предприятием.

Методика реинжиниринга БП на основе интеграции методов структурного анализа, ЭС и формальных грамматик, предложенная Конновой Е.П. [48, 79] опирается на теоретические работы Калянова Г.Н. [42-43] и Тельнова Ю.Ф. [71-73]. Для описания БП в данной методике используется структурный подход. Основное внимание при описании БП уделяется описанию информационных потоков и привязке ресурсов к организационной структуре предприятия (принадлежность ресурса подразделению предприятия). При анализе вариантов выполнения БП используется ЭС, основанная на «классических» правилах РБП, причем количественный анализ динамических характеристик процесса не проводится. Сама методика Конновой Е.П. алгоритмизирует и автоматизирует процесс оценки и анализа исходного выполнения БП с целью нахождения альтернативных вариантов его выполнения, удовлетворяющих базовым принципам РБП. К недостаткам данного метода, по сравнению с предложенным, относятся следующие:

- отсутствие возможности анализа динамических характеристик процесса и поиска «узких мест», а также проведение структурных и параметрических изменений модели процесса и их проверка на имитационной модели;
- нет средств формализации сценариев принятия решений (построения моделей ЛПР, работающих со знаниями);
- изменения в процессе происходят только на уровне изменения организационной структуры.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Сравнение методов принятия решений задачи реинжиниринга

№ п/п	Параметр	Методология Александрова Д.В.	Методика Конновой Е.П.	Новый метод
1	Проектирование концептуальной модели предметной области	+	НЕТ	+
2	Язык описания процессов преобразования ресурсов			
2.1	- Описание ресурсов, средств, преобразователей	+	+	+
2.2	- Элемент заявка/транзакт	НЕТ	НЕТ	
2.3	- Описание целей системы	+	+	+
2.4	- Иерархическая модель процесса	+	+	+
3	Построение мультиагентной модели БП/ОТС			
3.1	- Элемент АГЕНТ	НЕТ	НЕТ	+
3.2	- Модели поведения агентов	НЕТ	НЕТ	+
3.3	- База знаний агента	НЕТ	НЕТ	+
4	Имитационное моделирование	+	НЕТ	+
5	Экспертное моделирование	НЕТ	+	+
6	Ситуационный подход	НЕТ	НЕТ	+
7	ОО подход	+	НЕТ	+
8	Поддержка стандарта IDEF0	+	+	+
9.	Возможность реализации метода реинжиниринга			
9.1	- Доступ к модели	+	+	+
9.2	- Анализ «узких мест» модели	НЕТ	НЕТ	+
9.3	- Средства реинжиниринга (синтеза) модели процесса	НЕТ	НЕТ	+

2.8. Сравнение предлагаемого метода и метода критического пути

Для анализа узких мест в управлении проектами и строительстве наиболее часто применяется сетевая модель (сетевой график), которая вместе с методом критического пути (англ. CPM [40]) позволяет определить резервы времени выполнения отдельных работ. Применение ИМ субподряда приводит к эффекту наискорейшего «проталкивания» работ. Результаты применения метода CPM и МППР на примере цепочек параллельно-последовательных работ показаны на рис. 2.19.

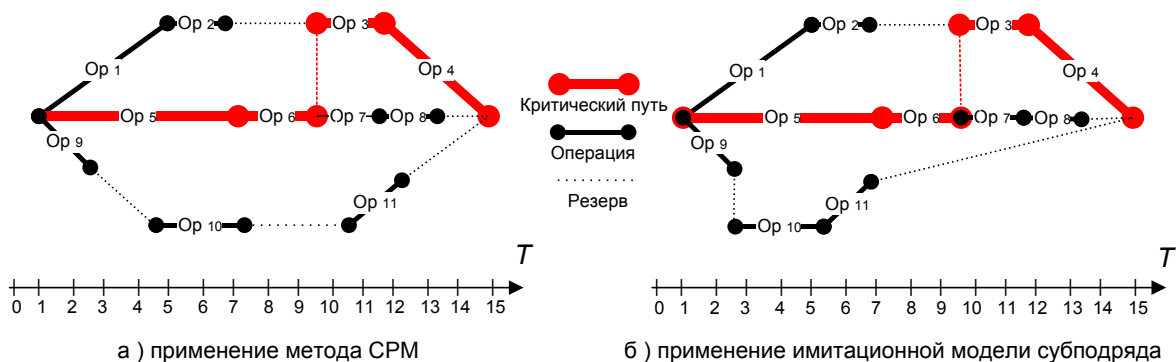


Рис. 2.19. Применение методов CPM и ИМ субподряда

Рассмотрим случай параллельного выполнения во времени двух проектов. Для случая, когда параллельно во времени могут выполняться 2 работы и наивысший приоритет назначается работам, относящимся к критическому пути (причем эти приоритеты для разных проектов (объектов) одинаковы), возможны следующие ситуации, связанные со временем начала проектов (рис. 2.20 – проект «Объект 2» начинается в конце критического пути «Объект 1», рис. 2.21 – проект «Объект 2» начинается сразу после окончания работы Op2 проекта «Объект 1»).

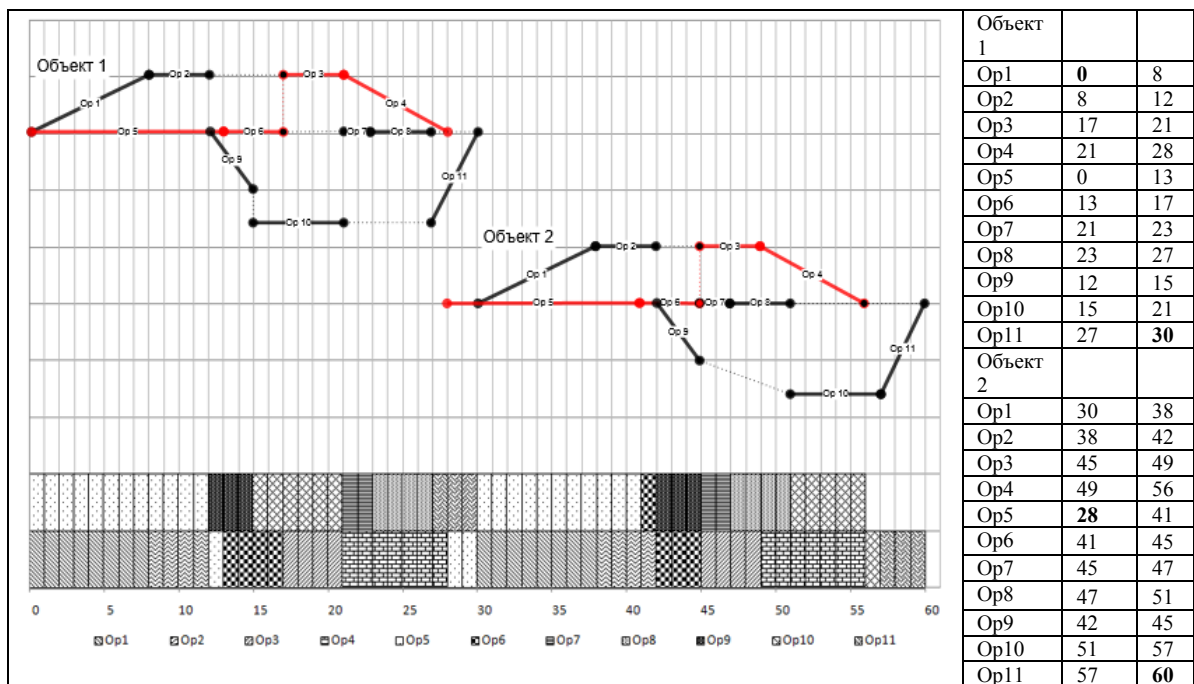


Рис. 2.20. Проект «Объект 2» начинается в конце критического пути «Объект 1»
(выталкивающая стратегия для первого проекта, суммарная длительность портфеля 60)

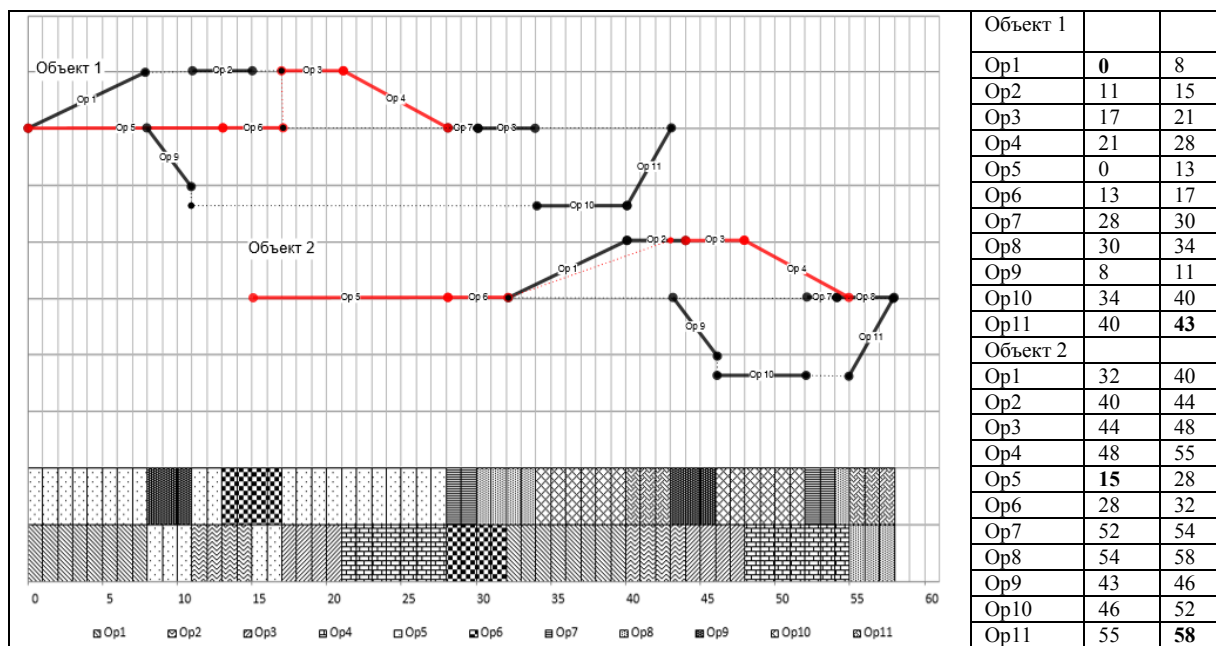


Рис. 2.21. Проект «Объект 2» начинается сразу после окончания работы Op2 проекта «Объект 1» (суммарная длительность портфеля 58)

Как видно из рисунка 2.21 применение «выталкивающей» стратегии имеет важное значение и позволит избежать подобных ситуаций для задач управления и планирования портфелей проектов. Вариант портфеля проектов на рис. 2.20 (с суммарной длительностью 60), отличается на 2 от варианта представленного на рис. 2.21 (суммарная длительность 58). Если в модель портфеля проектов ввести штрафные санкции за увеличение сроков работ по отдельному проекту, то возможны ситуации (определяемые размерами штрафов), когда вариант на рис. 2.20 будет более экономичен по сравнению с вариантом на рис. 2.21. Так длительность отдельных объектов для варианта на рис. 2.20 составила 30 и 32 дня, а для варианта на рис. 2.21 составила 43 и 43 дня.

Рассмотрим случай, когда имеется 3 ресурса для выполнения проектов (каждая работа захватывает 1 ресурс) объект 2 начинается в 24 день (рис. 2.22).

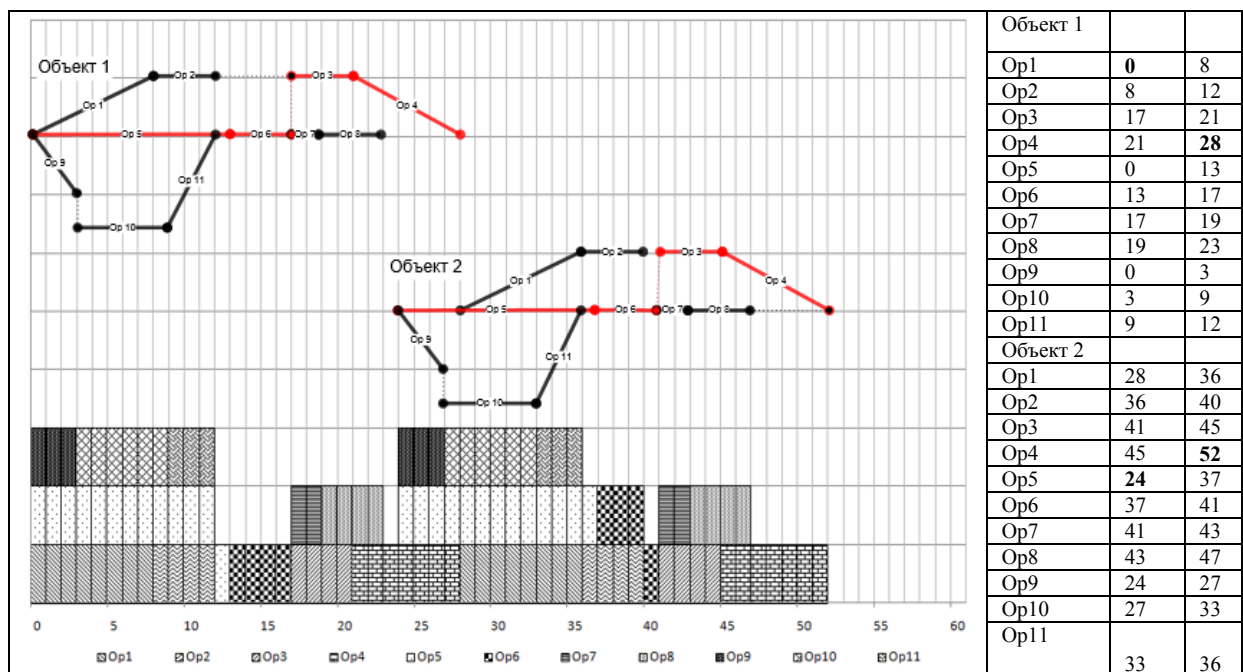


Рис. 2.22. Сетевой график проектов с выровненной потребностью в ресурсах
(суммарная длительность портфеля 52)

Если для случая, представленного на рис. 2.22, допустимо начать объект 2 раньше (на 12 день) и не вводятся штрафные санкции за задержки в выполнении проекта, а также допустимо использовать прерывания операций, то можно минимизировать длительность портфеля проектов с 52 до 43 дней (рис. 2.23).

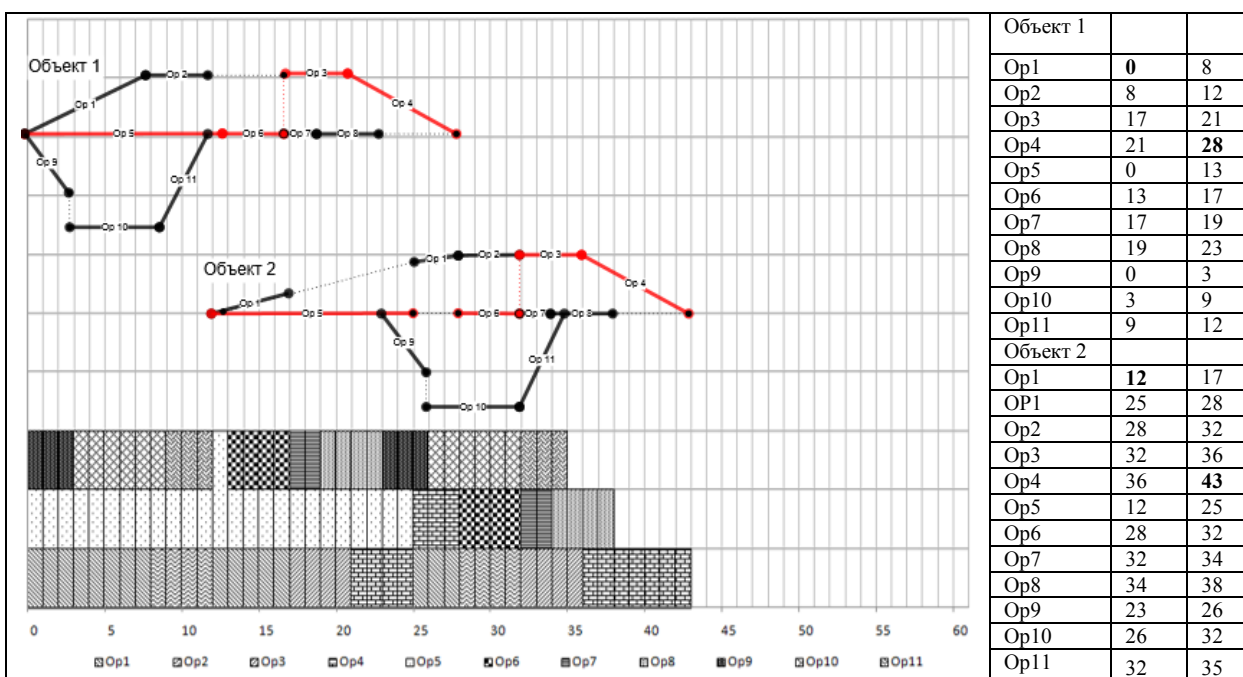


Рис. 2.23. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов с началом объекта 2 на 12 день и возможностью прерывания операции O2.Op1 (суммарная длительность портфеля 43)

Для случая 3-х ресурсов, с возможностью смещения сроков работ объекта 2 на 12 день, сетевые графики для 13 возможных вариантов и функции потребления ресурсов представлены на рис. (2.23-2.35):

1) возможностью прерывания операции O2.Op1 (суммарная длительность портфеля 43 дня) - рис. 2.23;

2) с 15 по 17 день «окно» (вариант «окно» запуск операции O2.Op9) 1 ресурс свободен – держим в запасе намеренно, чтобы не увеличивать критический путь объекта O1 (длительность портфеля проектов 46 дней – рис. 2.24);

3) запрет прерывания работ (вариант «окно» запуск операции O2.Op1, длительность портфеля проектов 40 дней – рис. 2.25);

4) запуск O2.Op1 после окончания O2.Op9 (на 15-й день) и с прерыванием работы O2.Op1 (для запуска O1.Op3, находящейся на критическом пути) - длительность портфеля проектов 44 дня – рис. 2.26);

5) запуск O2.Op1 на 12 день, запуск O2.Op9 после окончания O1.Op8 (без прерывания, суммарная длительность 43 - рис. 2.27);

6) запуск O2.Op1 на 12 день, а O2.Op2 на 20 день (для запуска O2.Op3, находящейся на критическом пути в 29 день), запуск O2.Op9 после окончания O1.Op4 (без прерывания, суммарная длительность 40 - рис. 2.28);

7) запуск O2.Op1 после окончания O2.Op9 (на 15 день) без прерывания работы O2.Op1 (запуск O1.Op3, находящейся на критическом пути и задержкой O1.Op7 (запуск в 27 день)), и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 40 - рис. 2.29);

8) запуск O2.Op9 (на 12 день), запуск O2.Op10 (на 15 день и прерыванием на 17 день для запуска O1.Op3, находящейся на критическом пути, и O1.Op7, что приводит к задержке операции критического пути O2.Op3 (запуск в 35 день), и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 46 - рис. 2.30);

9) запуск O2.Op9 (на 12 день), запуск O2.Op10 (на 15 день и прерыванием на 17 день для запуска O1.Op3, находящейся на критическом пути, и O2.Op1 как работой с нулевым резервом времени) и задержкой работы O1.Op7 (запуск в 28 день), суммарная длительность 40 - рис. 2.31;

10) запуск O2.Op9 (на 12 день), запуск O2.Op10 (на 15 день) запуск O1.Op3, находящейся на критическом пути, и O2.Op1 как работой с нулевым резервом времени) и задержкой работы O1.Op7 (запуск в 21 день), и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 46 - рис. 2.32;

11) запуск O2.Op1 (на 20 день), запуск O1.Op7 (на 24 день), запуск O2.Op9 (на 28 день) и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 40 - рис. 2.33;

12) запуск O2.Op1 (на 20 день), запуск O1.Op7 (на 27 день), запуск O2.Op9 (на 24 день) и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 40 - рис. 2.34;

13) запуск O2.Op1 (на 12 день), запуск O1.Op7 (на 20 день), запуск O2.Op2 (на 26 день) и запрет прерывания работ (суммарная длительность 41 - рис. 2.35.;

14) модификация варианта 1 (возможностью прерывания операции O2.Op1 – учет запаса времени для операции O2.Op2 (суммарная длительность портфеля 40 дней) - рис. 2.36.

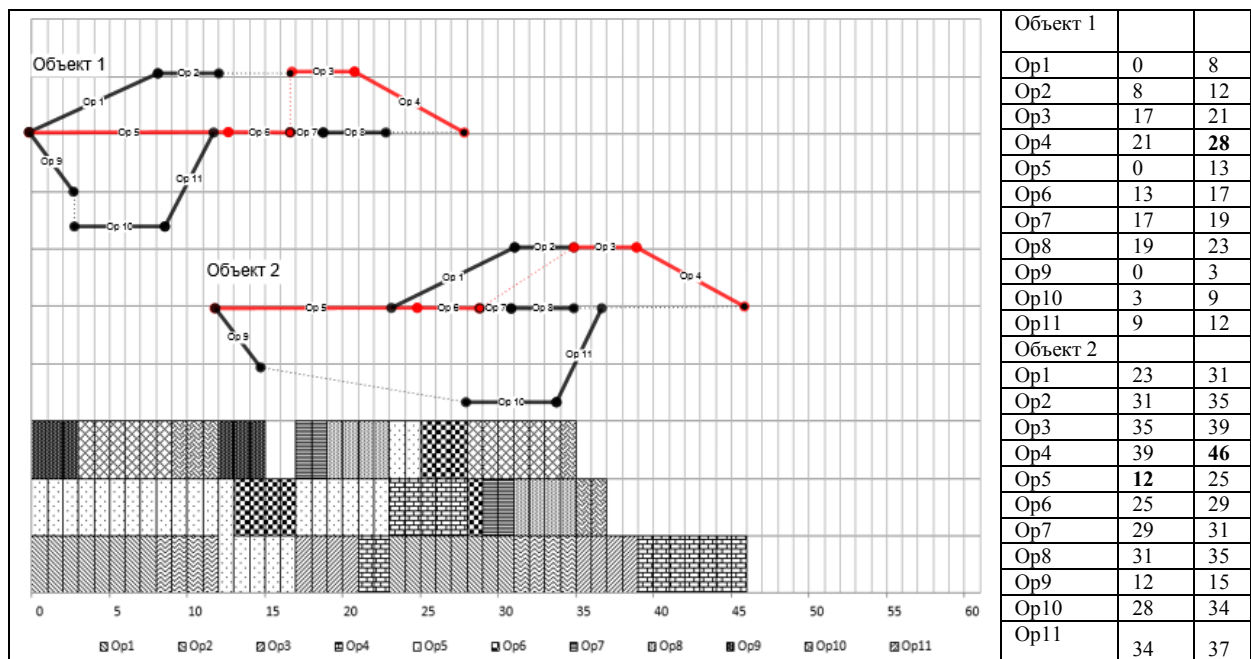


Рис. 2.24. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта 2 на 12 день и запретом прерывания работ (вариант «окно» запуск операции O2.Op9)

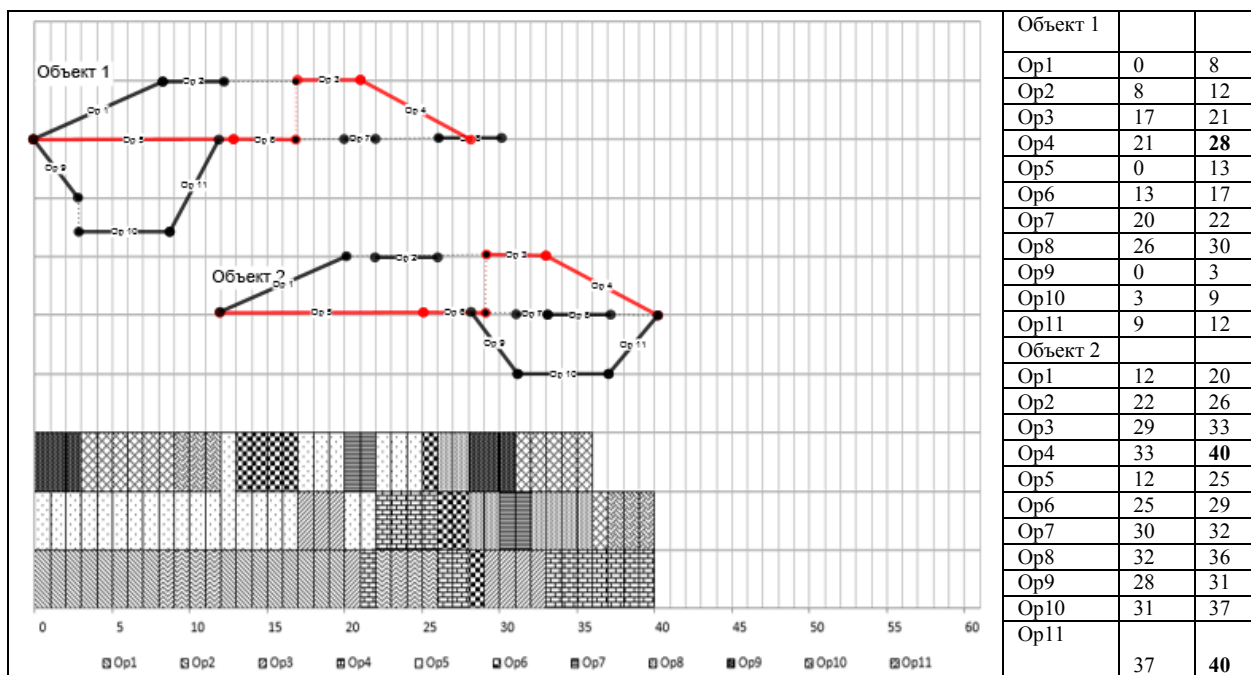


Рис. 2.25. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта 2 на 12 день и запретом прерывания работ (вариант «окно» запуск операции O2.Op1, суммарная длительность 40 дней)

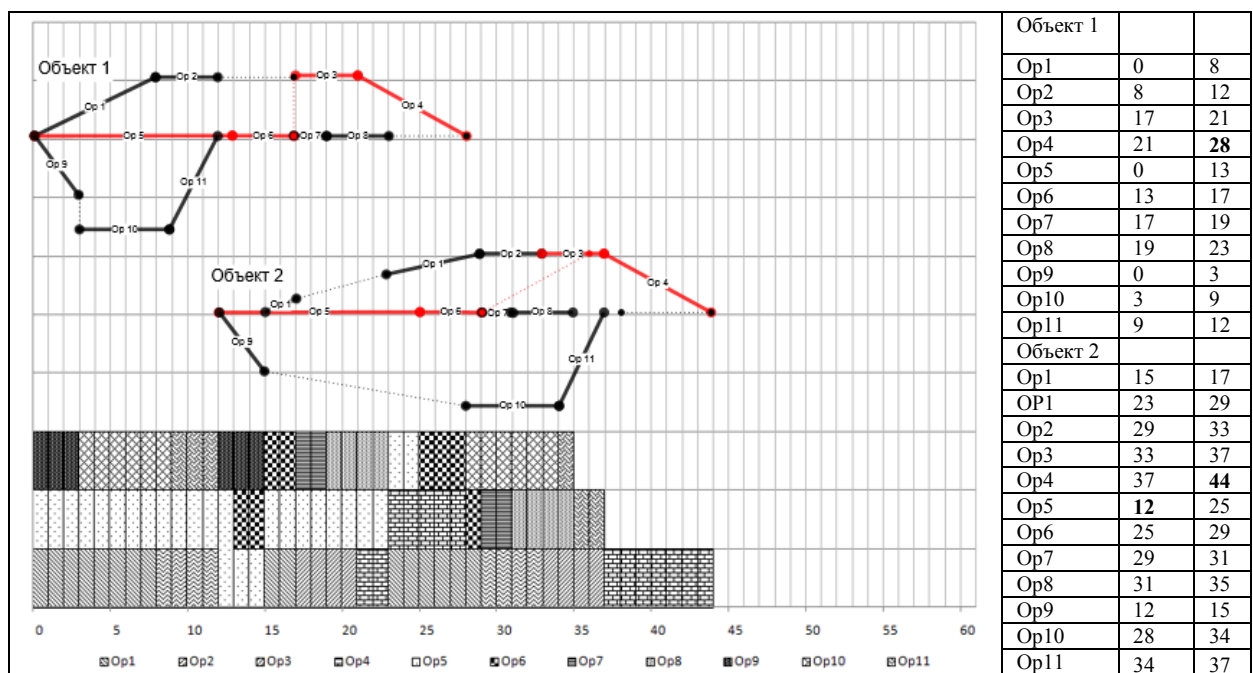


Рис. 2.26. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день, запуском O2.Op1 после окончания O2.Op9 (на 15 день) и с прерыванием работы O2.Op1 (для запуска O1.Op3, находящейся на критическом пути)

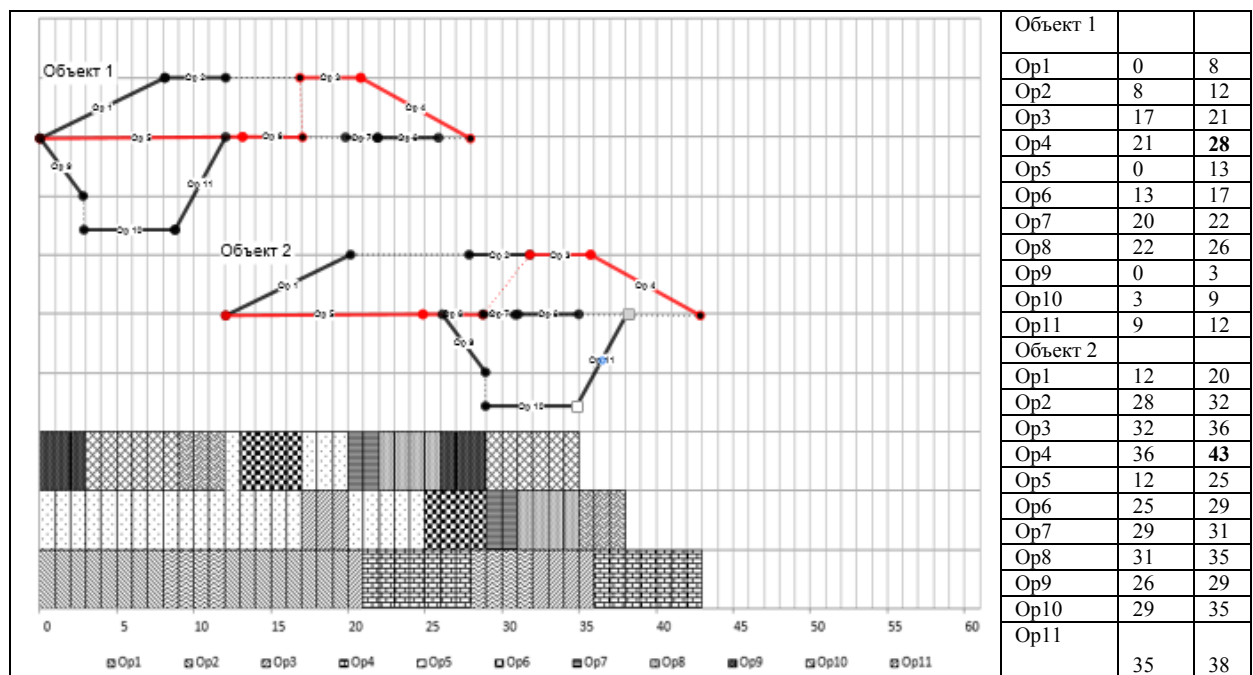


Рис. 2.27. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 и запуском O2.Op1 на 12 день, запуском O2.Op9 после окончания O1.Op8 (без прерывания, суммарная длительность 43)

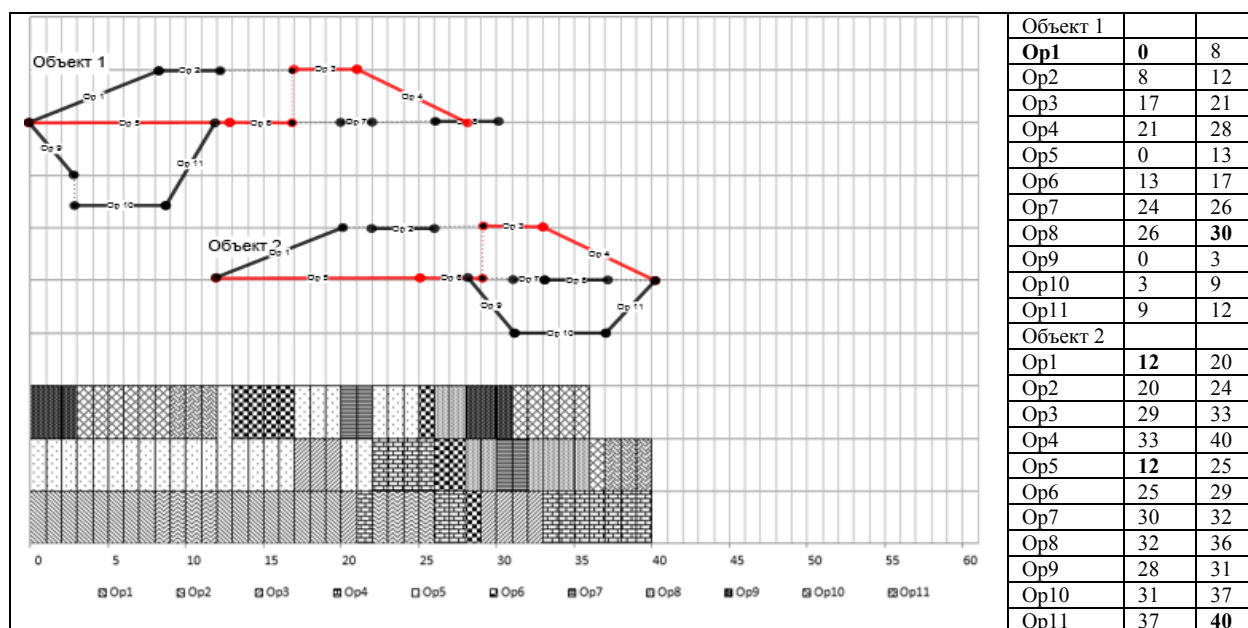


Рис. 2.28. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 и запуском O2.Op1 на 12 день, а O2.Op2 на 20 день (для запуска O2.Op3, находящейся на критическом пути в 29 день), запуском O2.Op9 после окончания O1.Op4 (без прерывания, суммарная длительность 40)

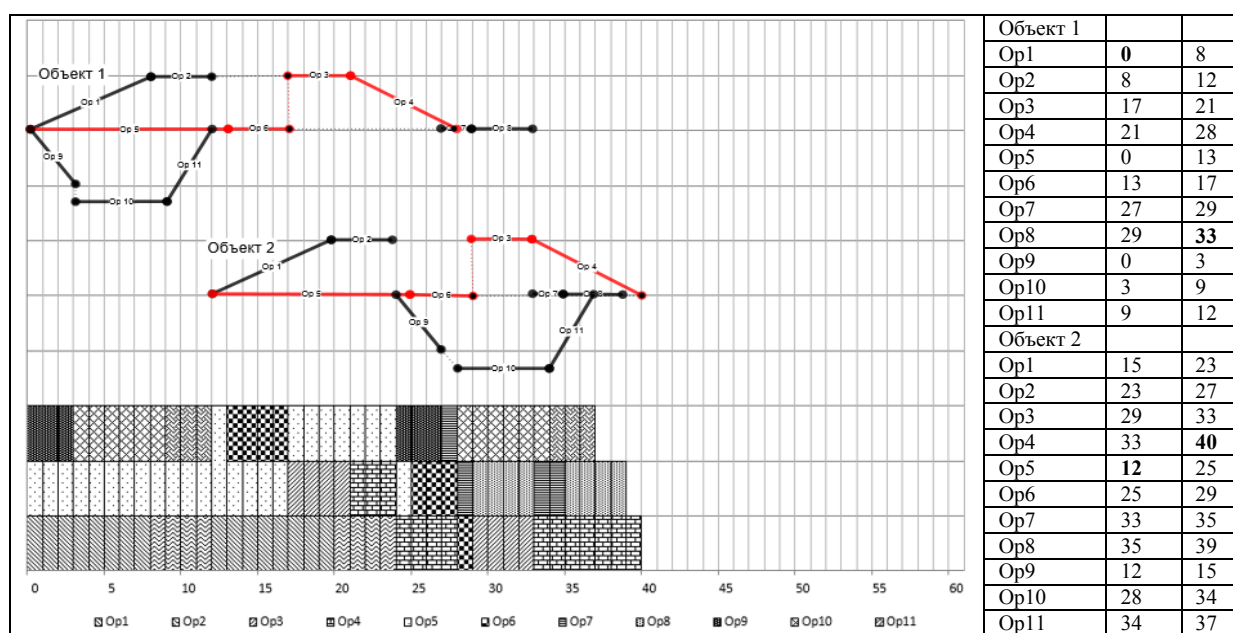


Рис. 2.29. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op1 после окончания O2.Op9 (на 15 день) без прерывания работы O2.Op1 (запуск O1.Op3, находящейся на критическом пути и задержкой O1.Op7 (запуск в 27 день)), и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 40)

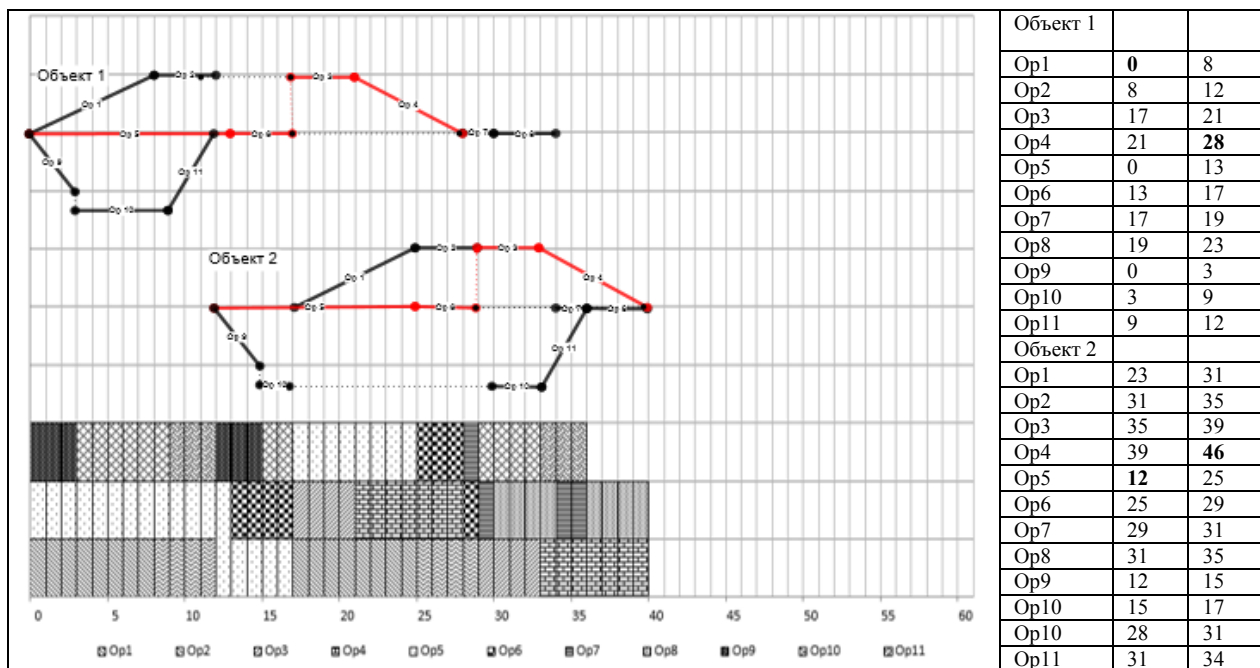


Рис. 2.30. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op9 (на 12 день), запуском O2.Op10 (на 15 день и прерыванием на 17 день для запуска O1.Op3, находящейся на критическом пути, и O1.Op7, что приводит к задержке операции критического пути O2.Op3 (запуск в 35 день), суммарная длительность 46

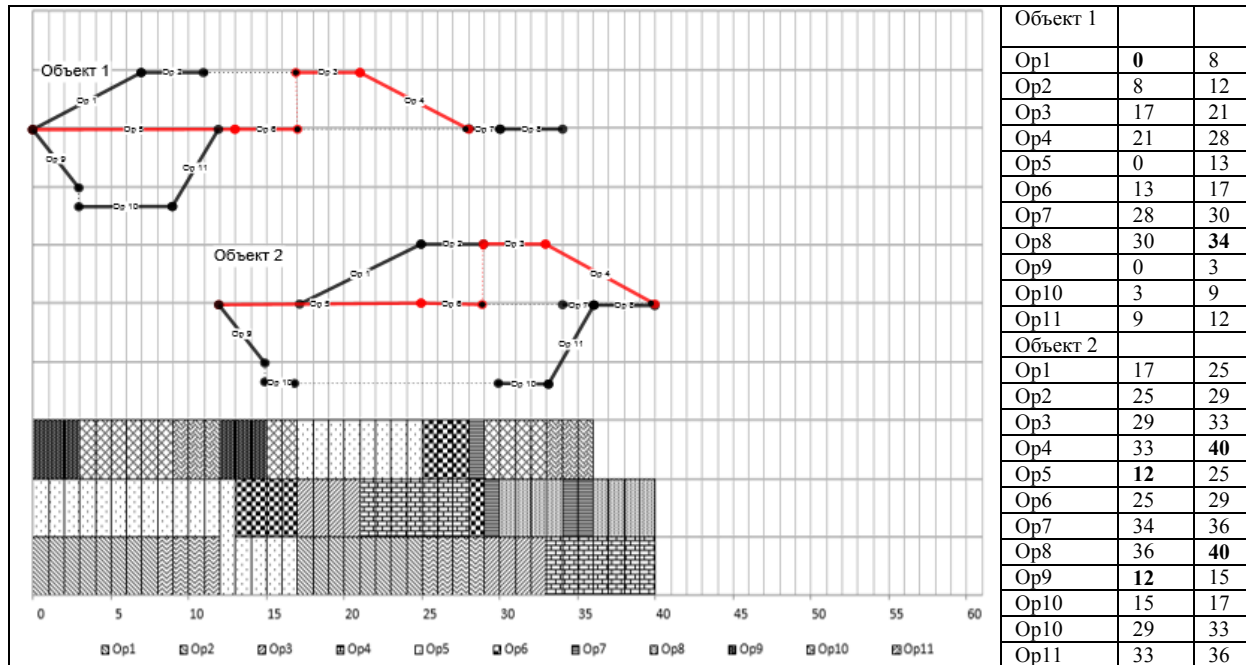


Рис. 2.31. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op9 (на 12 день), запуском O2.Op10 (на 15 день и прерыванием на 17 день для запуска O1.Op3, находящейся на критическом пути, и O2.Op1 как работой с нулевым резервом времени) и задержкой работы O1.Op7 (запуск в 28), суммарная длительность 40

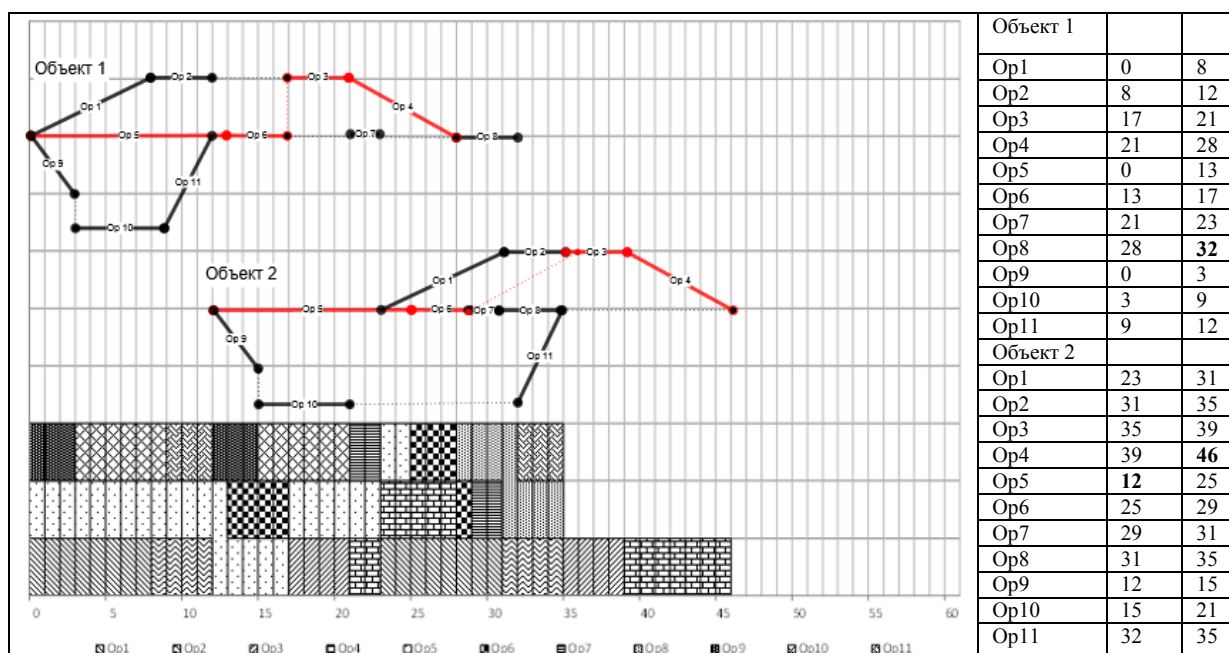


Рис. 2.32. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op9 (на 12 день), запуском O2.Op10 (на 15 день) запуск O1.Op3, находящейся на критическом пути, и O2.Op1 как работой с нулевым резервом времени) и задержкой работы O1.Op7 (запуск в 21 день), и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 46)

Из данного рисунка (см. рис. 2.32) и рис. (2.26-2.27, 2.30) видно, что необходимо уделять внимание не только операциям, относящимся к критическому пути, но и к операциям (цепочкам операций), предшествующим операциям критического пути, а именно учитывать резервы времени и эффективно их распределять в процессе решения задачи планирования. Так, например, из графика 2.32 видно, что запуск операции O2.Op9, O2.Op10 и O1.Op7 (эти операции не относятся к критическому пути) полностью использовал резерв времени операции O2.Op2, что отразилось на увеличении длительности как критического пути, так и всего сетевого графика объекта 2.

При построении имитационных моделей проектов и/или портфелей проектов необходимо классифицировать операции на 3 типа, с соответствующим использованием типов приоритетов:

1) операции критического пути - группа наивысшего приоритета;

2) операции и цепочки операций, предшествующие операциям критического пути, - группа среднего приоритета;

3) остальные операции, не предшествующие операциям критического пути, - группа низшего приоритета.

Если предметная область допускает использование прерываний операций, то при построении модели у операций могут быть использованы относительный и абсолютный приоритет, иначе - у операций устанавливается запрет прерываний.

Использование этих правил позволяет перестроить предыдущий сетевой график (см. рис. 2.32) и построить новые варианты - рис. 2.33 и 2.34.

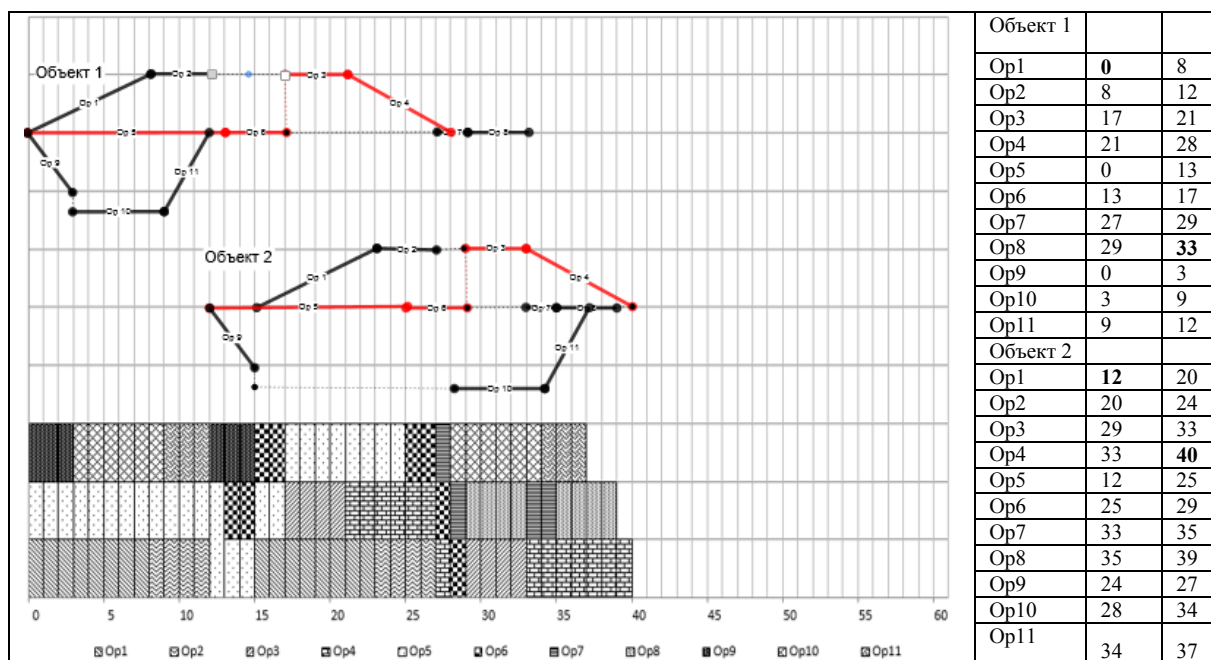


Рис. 2.33. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op1 (на 20 день), запуском O1.Op7 (на 24 день), запуском O2.Op9 (на 28 день) и с запретом прерывания работ
(суммарная длительность 40)

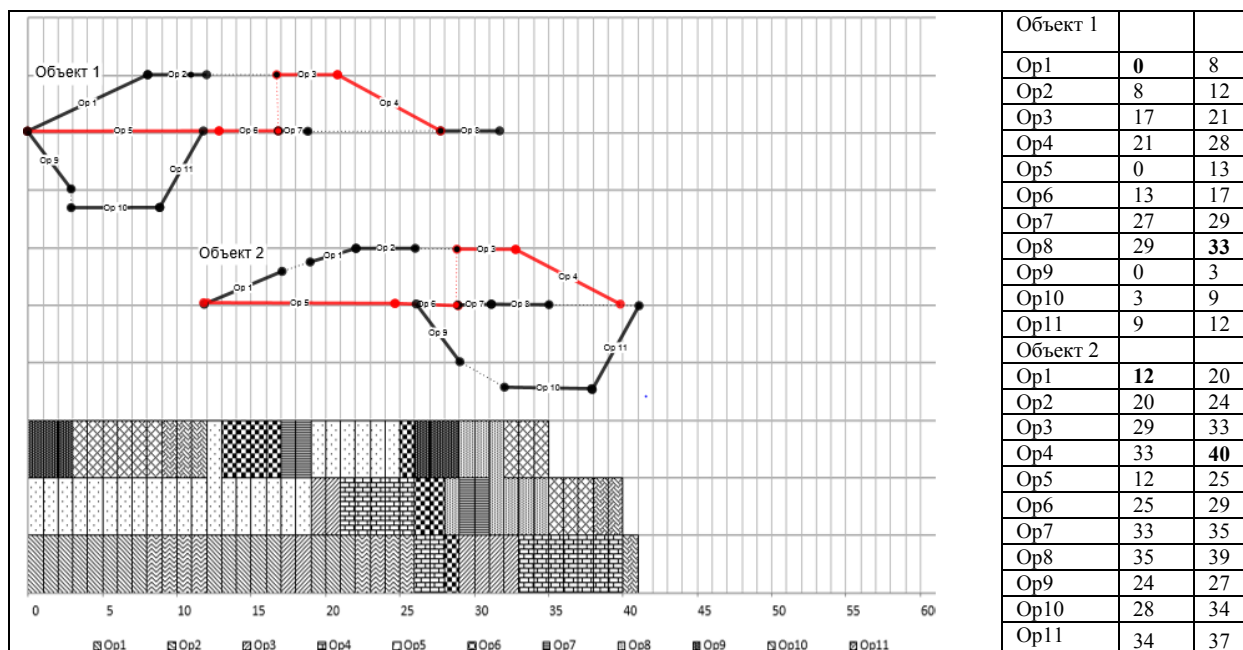


Рис. 2.34. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op1 (на 20 день), запуском O1.Op7 (на 27 день), запуском O2.Op9 (на 24 день) и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 40)

На рис. 2.35 показан сетевой график, в котором возникает запаздывание запуска операции O2.Op3 на 1 день из-за отсутствия резерва времени у операции O2.Op1.

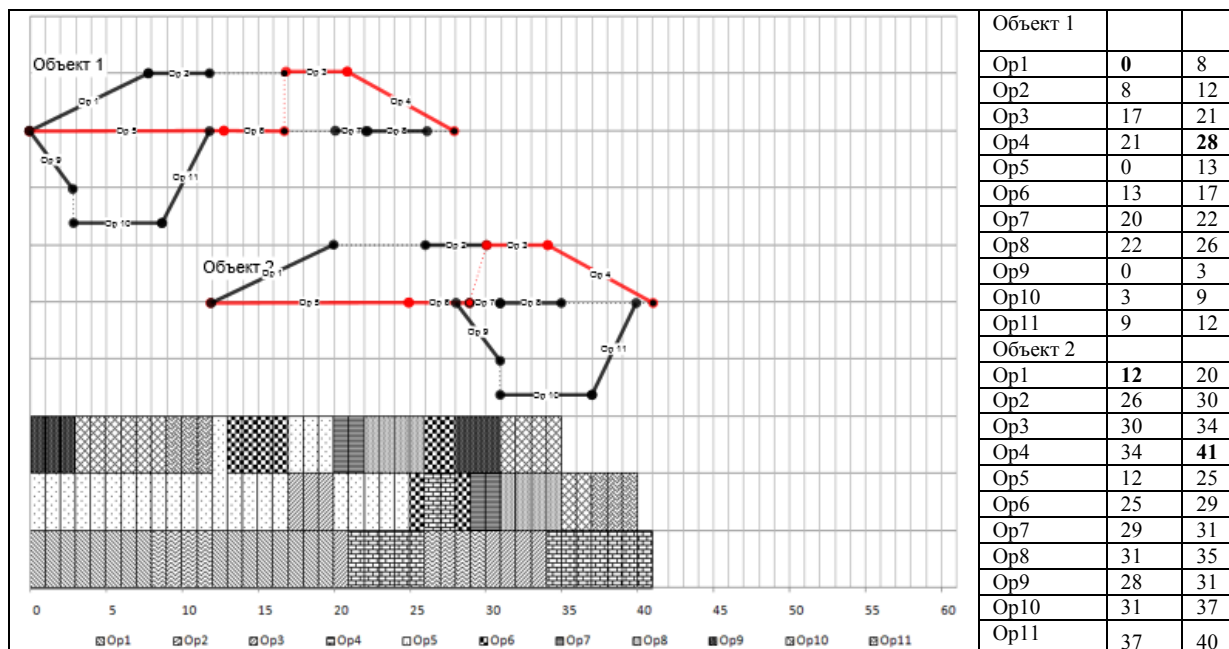


Рис. 2.35. Сетевой график проектов для 3-х ресурсов, с возможностью смещения объекта2 на 12 день и запуском O2.Op1 (на 12 день), запуском O1.Op7 (на 20 день), запуском O2.Op2 (на 26 день) и с запретом прерывания работ (суммарная длительность 41)

В данном примере (см. рис. 2.35) у сетевого графика О1 не возникает штраф по времени, однако, для сетевого графика О2 возник штраф на операции О2.Ор3, относящейся к критическому пути. По сравнению с рис. 2.33 и 2.34, где штрафов на операциях критического пути не возникают, сетевой график портфеля объектов на рис. 2.35 оказался длиннее на 1.

Для сетевого графика на рис. 2.23, также можно продемонстрировать вариант, когда учет запаса времени для операций, предшествующим операциям критического пути, позволяет устранить штраф на операциях критического пути – рис. 2.36. Для данного варианта (см. рис. 2.36) возможны варианты, когда штраф с объекта 1 переносится на объект 2.

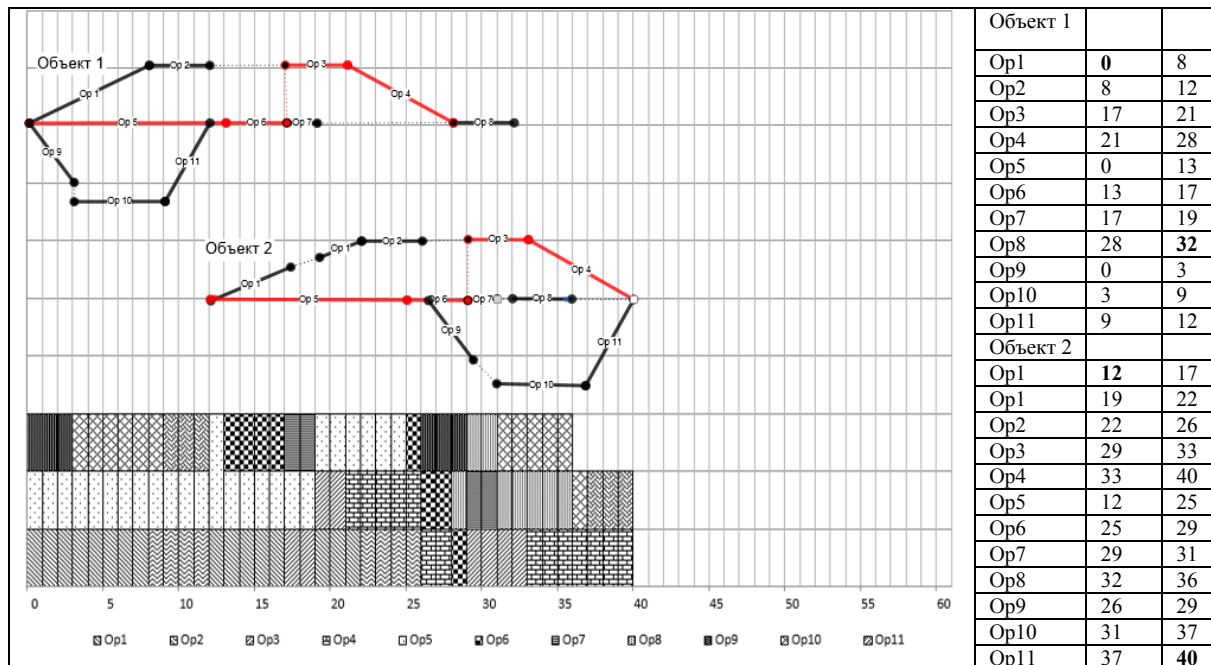


Рис. 2.36. Модификация варианта 1 – сетевой график проектов для 3-х ресурсов с началом объекта 2 на 12 день и возможностью прерывания операции О2.Ор1 на 17 день и возобновления работы на 19 день (суммарная длительность портфеля 40)

В зависимости от ПрО и от условий задачи размеры штрафов за различные объекты так и операции объектов могут отличаться. В таблице 2.4 проведен анализ результатов расчетов сетевых графиков смещения объекта 2 на 12 день (оценка штрафов проведена в единицах времени). Коэффициент использования средства определялся относительно суммарной длительности каждого варианта портфеля объектов.

Таблица 2.4. - Анализ результатов расчетов сетевых графиков смещения объекта 2
на 12 день.

№	№ рис.	Время О1	Время О2	Время общее	t_Штраф О1	t_Штраф О2	t_Штраф О1 (СРМ)	t_Штраф О2 (СРМ)	U	Комментарий
1	23	28	31	43	0	3	0	3	0,899	без запаса резерва времени О2.Ор1, О2.Ор2, О2.Ор6
2	24	28	34	46	0	6	0	6	0,841	без запаса резерва времени О2.Ор1, О2.Ор2
3	25	28	30	40	0	2	0	0	0,967	
4	26	28	32	44	0	4	0	4	0,879	без запаса резерва времени О2.Ор2
5	27	28	31	43	0	3	0	3	0,879	без запаса резерва времени О2.Ор2
6	28	30	28	40	2	0	0	0	0,967	
7	29	33	28	40	5	0	0	0	0,967	
8	30	28	34	46	0	6	0	6	0,841	без запаса резерва времени О2.Ор1, О2.Ор2
9	31	34	28	40	6	0	0	0	0,967	
10	32	32	34	46	4	6	0	6	0,841	без запаса резерва времени О2.Ор1, О2.Ор2
11	33	30	28	40	2	0	0	0	0,967	
12	34	33	28	40	5	0	0	0	0,967	
13	35	28	29	41	0	1	0	1	0,943	без запаса резерва времени О2.Ор2
14	36	32	28	40	4	0	0	0	0,967	

Как видно из сетевых графиков (рис 2.25, 2.28-2.29, 2.31, 2.33-2.34, 2.36) и результатов, представленных в таблице 2.4 с точки зрения выравнивания потребления средства рекомендуемые правила построения

имитационной модели позволяют получить достаточно хорошие показатели: так коэффициент использования для различных вариантов сетевого графика, использующих смещение объекта 2 на 12-й день составляет 0,967.

Из результатов расчетов можно также увидеть, что на равномерность использования ресурсов может оказывать как структура сетевого графика, так и подходы к балансировке ресурсов (включая выбор и закрепление определенной операции за средством). Так на форму "хвоста" функции потребления средства сетевого графика (а соответственно, коэффициента использования) оказывает влияние пропорциональность количества параллельных операций к количеству средств. При балансировке распределения ресурсов между хвостами сетевых графиков разных объектов, может наблюдаться эффект увеличения сроков отдельных объектов и тем самым увеличиваться штрафное время отдельного объекта.

Важно сделать замечание о разнице понятия «ресурс» сетевой модели и модели МППР. Так в МППР "ресурс" — количественная мера возможности выполнения какой-либо деятельности [27]. Ресурс — то, что можно использовать, тратить; возможная продолжительность эксплуатации машины [27, 55]. Так, в сетевой модели под «ресурсом» понимаются трудовые ресурсы и технические средства, что терминологии МППР соответствует «средству». Классификация ресурсов с точки зрения их использования [57] в МППР приведена на рис. 2.37.

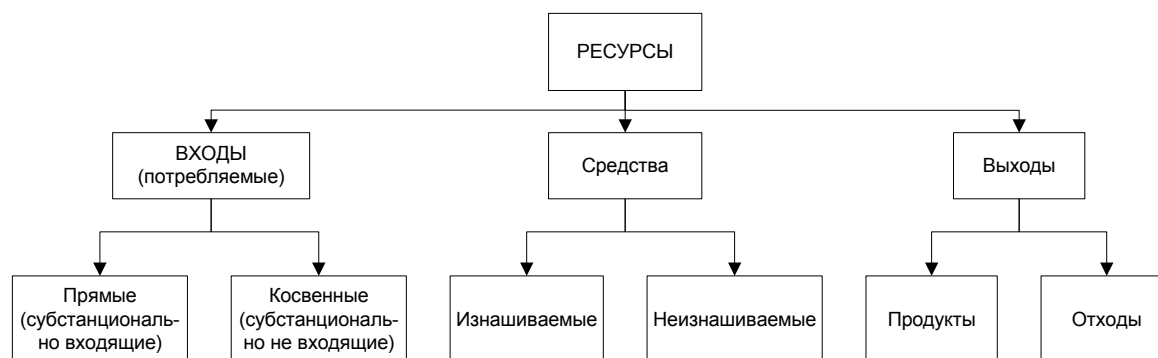


Рис. 2.37. Классификация ресурсов по типам использования [57]

Потребляемые ресурсы (входы) – ресурсы, которые используются в процессе только один раз. **Средства** не потребляются, а используются в процессе преобразования, они не уменьшаются в процессе их использования. **Выходы** формируются в процессе преобразования [57].

Сетевая модель не описывает работу с «потребляемыми» ресурсами и не позволяет описать модель управления запасами ресурсов и модель поставок, что в свою очередь, оказывает или может оказывать существенное влияние на ход строительных и проектных работ. Новая модель МППР позволяет кроме графика использования средств построить график потребления ресурсов для всего портфеля проекта.

Также стоит отметить существование для ПрО строительства специфических потребляемых ресурсов с очень коротким сроком полезного потребления, к которым относится бетон, обладающий высокой скоростью схватывания. С целью учета ограниченности средств (как собственных, так и субподрядных) оба подхода поддерживают решение задачи балансировки ресурсов (сглаживания функции потребления средств). Результаты сравнения методов представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. - Сравнение нового метода и метода критического пути

№	Критерий сравнения	СРМ	МППР
1.	Учет использования средств	+	+
2.	Учет потребления ресурсов	НЕТ	+
3.	Учет поставок ресурсов	НЕТ	+
4.	Учет времени жизни потребляемого ресурса	НЕТ	+
5.	Учет субподряда	+	+
6.	Автоматическая генерация и параметризация объектов портфеля	НЕТ	+
7.	Балансировка средств	+	+
8.	Формирование сетевого графика	+	+

9.	Формирование графика использования средств	+	+
10.	Нахождение критического пути	+	+
11.	Оценка резерва времени для каждой работы	+	+
12.	Формирование графика потребления ресурсов	НЕТ	+

В данном разделе на примерах расчетов сетевых графиков определены следующие принципы построения имитационных моделей для предметных областей управления проектами и строительства:

- при построении ИМ проекта или портфеля проектов необходимо классифицировать все операции по трём типам приоритетов: 1) наивысший - для операций критического пути; 2) средний - для операций, предшествующих операциям критического пути; 3) низший - для остальных операций;

- применение моделей субподряда позволяет снять узкие места на средствах;

- если предметная область допускает использование прерываний операций, то при построении модели у операций могут быть использованы относительный и абсолютный приоритет, иначе - у операций устанавливается запрет прерываний.

- применение "выталкивающей" стратегии при моделировании проектных работ (FIFO) и алгоритмов балансировки средств;

Данные принципы построения ИМ и требования предметной области, также хорошо согласуются с выводами Дэйвиса [40, с. 293]: «... правило упорядочения, в соответствии с которым первой выполняется работа с наименьшим резервом (или эквивалентное правило минимизации самого позднего времени начала), в среднем дает наилучший результат».

Полученные теоретические результаты (метод принятия решений задачи реинжиниринга модели мультиагентного процесса преобразования

ресурсов) позволяют реализовать программное обеспечение, относящееся к классу интеллектуальных систем принятия решений, которое использует методы экспертного, имитационного, ситуационного и мультиагентного моделирования, сетевого планирования.

2.9. Выводы

1. Для решения задач анализа модели «Как есть» и построения моделей «Как будет» предложено использование динамической модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов, и проведение имитационных экспериментов с целью проверки гипотез по синтезу модели (реинжинирингу). Проведена классификация агентов мультиагентного процесса преобразования (МППР).

2. Решены задачи представления модели МППР в виде системы массового обслуживания и графа. На основе анализа модели МППР, проведен анализ динамических характеристик процесса и применимости алгоритмов свертки/развертки модели.

3. Для решения задачи поиска узких мест используется операционный анализ вероятностных сетей, аппарат экспертных систем, а в совокупности с задачей динамического моделирования бизнес-процессов/ОТС предложено использовать мультиагентное имитационное моделирование и ситуационное управление.

4. Для описания модели предметной области используется фреймово-семантическое представление знаний (фреймовый подход Швецова А.Н. для построения КМПО). Решена также задача перехода (совмещения) модели представления знаний, концептуальной модели и их технической реализации на уровне реляционной базы данных и реализована в BPsim.MSS. Использование данного подхода позволяет в качестве языка вывода на фреймовой модели использовать Transact SQL. Определены основные классы КМПО задачи реинжиниринга МППР.

5. Разработаны правила поиска «узких мест» и реинжиниринга (структурного и параметрического синтеза) мультиагентного процесса преобразования ресурсов, построенные на основе диаграмм последовательностей языка UML для визуализации вывода на сети фрейм-концептов и концептуальных графов.

6. Разработан метод принятия решений реинжиниринга бизнес-процесса / организационно-технической системы, на основе операционного анализа, динамической мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов и интеллектуального агента поиска «узких мест» и реинжиниринга.

7. Проведено сравнение разработанного метода принятия решений задачи реинжиниринга с существующими: методологией моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий Александрова Д.В.; 2) методикой реинжиниринга бизнес-процессов на основе интеграции методов структурного анализа, экспертных систем и формальных грамматик Коннова Е.П.; 3) методом критического пути. Результаты сравнения показали преимущества нового метода.

8. Полученные теоретические результаты позволяют реализовать программное обеспечение, относящееся к классу интеллектуальных систем принятия решений, которое использует методы экспертного, имитационного, ситуационного и мультиагентного моделирования, сетевого планирования.

3. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА И ПРОЦЕДУР СВЕРТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ

3.1. Постановка задачи на разработку интеллектуального агента (визарда) реинжиниринга моделей

Применительно к продуктам BPsim метод принятия решений задач анализа синтеза моделей можно реализовать с помощью технологии программных помощников, предоставляющих пользователю с одной стороны инструмент анализ и синтеза системы, а с другой стороны, облегчающих труд аналитика и непрограммирующего специалиста в области решения задач управления ОТС и бизнес-системами.

Разработка выполнена на основе продуктов BPsim как наиболее полно отвечающим требованиям поддержки принятия решений в области управления бизнес-системами и ОТС. В настоящий момент семейство представлено следующими продуктами: системой динамического моделирования ситуаций (СДМС) BPsim.MAS (далее MAS), системой технико-экономического проектирования (ТЭП) BPsim.MSS (далее MSS) и CASE-средством проектирования информационных систем BPsim.SD (далее SD).

ТЭП MSS является инструментом системного анализа (СА) и поддержки принятия решений и обеспечивает генерирование, поиск и анализ вариантов технико-экономического проектирования в исследуемой предметной области. СДМС MAS поддерживает динамическое имитационное моделирование МППР, которое позволяет осуществлять проверку вариантов решений, полученных на этапе системного анализа. Средство SD предназначено для проектирования информационной системы (ИС) на основании данных, собранных в ходе анализа и синтеза. При проектировании ИС определяется архитектура программного

обеспечения, осуществляется генерация элементов ИС и производится настройка пользовательского интерфейса [18].

Схема обмена информацией между продуктами BPsim в ходе решения задач анализа и синтеза приведена на рис. 3.1.

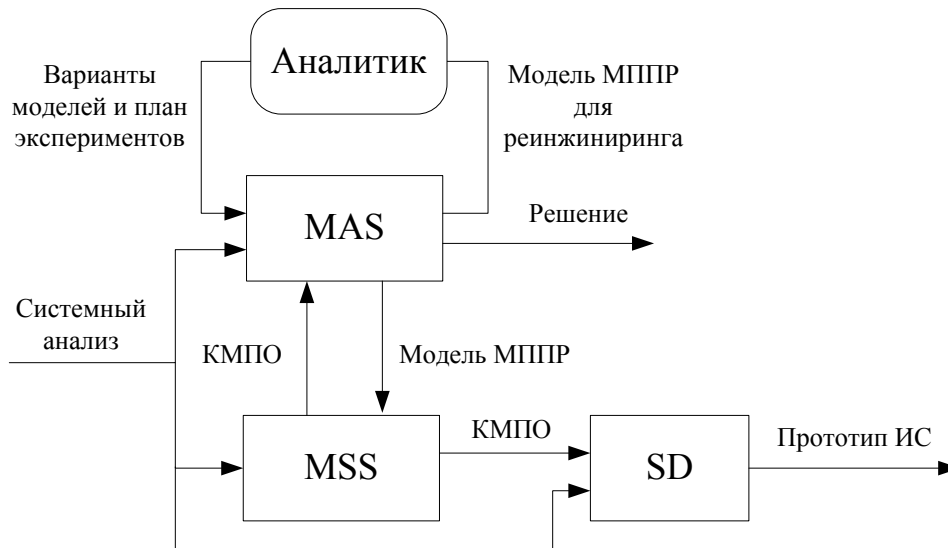


Рис. 3.1. Схема обмена информацией между продуктами семейства VPSim.

На основании данных системного анализа аналитик осуществляет построение КМПО (MSS) и модели МППР (MAS). Полученная модель МППР подвергается реинжинирингу (синтезу), в результате которого аналитик формирует варианты моделей (план имитационных экспериментов). В дальнейшем план экспериментов реализуется в MAS и аналитик осуществляет выбор управленческого решения, удовлетворяющего заданным критериям эффективности. Разработанная КМПО используется при построении прототипа ИС (SD).

В ходе проведения СА аналитик работает с различными пакетами программ линейки BPsim. В результате такой работы дублируется ввод информации, что влечет за собой увеличение трудозатрат и вероятностей появления ошибок, что сказывается на адекватности моделей, исходных данных, корректности результатов и правильности принимаемого решения. Кроме того, использование аналитиком различных пакетов программ требует дополнительного времени на изучение. Этап реинжиниринга

моделей осуществляется аналитиком вручную, что, несомненно, сказывается на времени принятия решения и затратах проекта.

Актуальным является разработка визарда (программного помощника, ИА) реинжиниринга моделей, являющегося связующим звеном между пользователем и ПО BPsim, и решающим задачи анализа «узких мест», реинжиниринга (свертки/развертки) модели. Визарды, с точки зрения пользователя, представляют собой последовательно сменяющие друг друга диалоговые окна, разбивающие решение задачи управления ОТС на элементарные шаги, доступные для реализации непрограммирующему пользователю: аналитику, эксперту, ЛПР. Схема интеграции продуктов BPsim посредством визардов представлена на рис. 3.2.

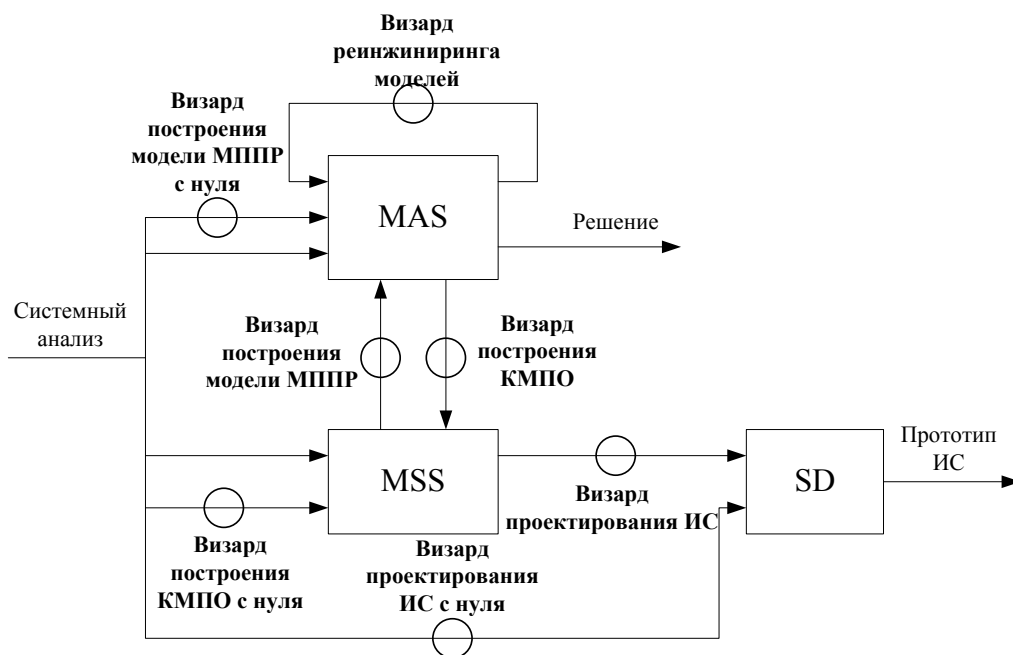


Рис. 3.2. Схема интеграции продуктов семейства BPsim посредством визардов.

Каждый из визардов выполняет следующих функций:

- передачи информации между программными продуктами MAS, MSS и SD в рамках комплексного решения единой задачи;
- облегчения работы непрограммирующего пользователя в процессе ознакомления с продуктами семейства BPsim;

- реализации функции валидации на этапах создания моделей (МППР, КМПО) и проектирования ИС.

Визард построения модели МППР предназначен для конвертации элементов КМПО (классов, свойств, методов, экземпляров) в элементы модели МППР (ресурсы, средства, заявки, агентов, цели, операции). Кроме того, визард должен обеспечивать проверку синтаксиса введенных данных и выявлять неиспользуемые данные.

Визард построения КМПО предназначен для конвертации элементов модели МППР в элементы КМПО. Визард **реинжиниринга** моделей предназначен для осуществления одного из типов синтеза (в зависимости от выбора пользователя) и построения плана экспериментов, загружаемого в дальнейшем в модель МППР. Разработка визарда проектирования ИС в работе рассматриваться не будет, поскольку данный визард не связан с решением задач реинжиниринга МППР (бизнес-процесса/ОТС).

Таким образом, для обеспечения автоматизированного решения специалистом задачи реинжиниринга (анализа и синтеза) моделей МППР необходимо разработать визард анализа и синтеза, интегрируемый с BPsim.

3.2. Построение DFD-диаграммы и диаграммы прецедентов программного комплекса (ПК) визарда анализа и синтеза (реинжиниринга)

Функции разрабатываемого ПК сводятся к возможности работы пользователя с визардом анализа и синтеза модели МППР. Определим последовательность действий пользователя по шагам при работе с визардом, а также определим структуры данных, задействованные в ходе работы пользователя.

Работа пользователя с *визардом реинжиниринга* подразумевает выполнение структурных и/или параметрических изменений модели МППР с целью получения ряда новых моделей, на основании которых

строится план эксперимента в BPsim.MAS. Описание функции «Визард реинжиниринга» DFD-диаграммы ПК представлена на рис. 3.3.

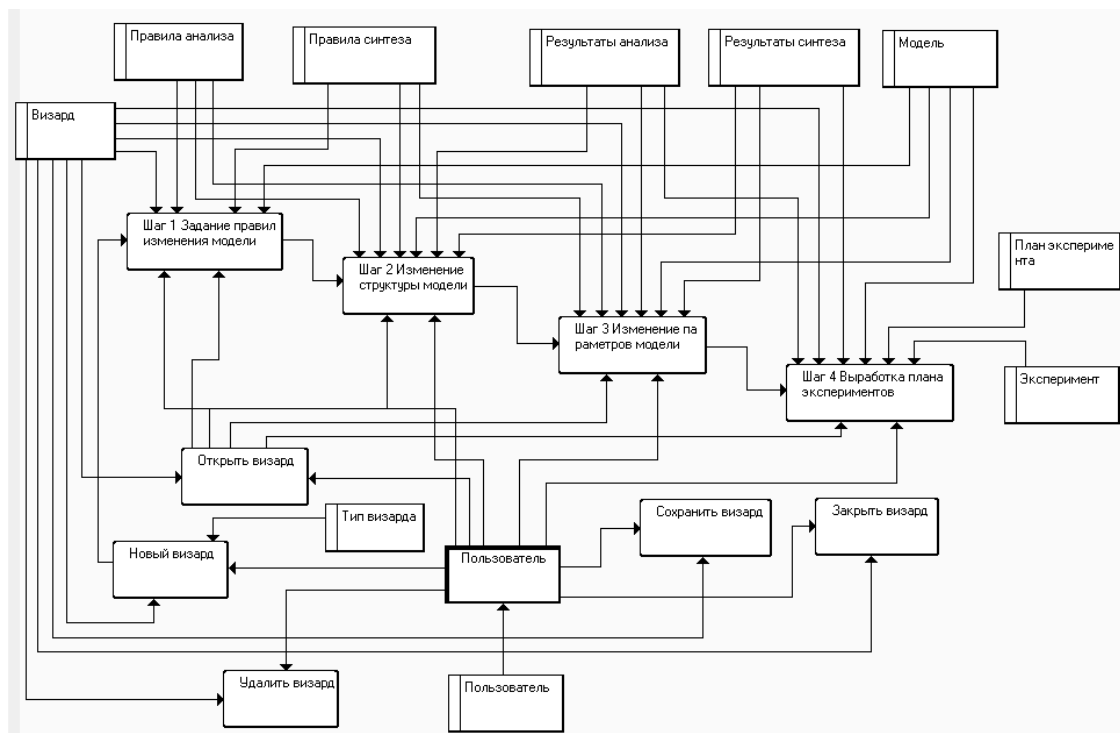


Рис. 3.3. Декомпозиция функции «Визард реинжиниринга» DFD-диаграммы ПК.

В ходе работы с визардом реинжиниринга пользователь последовательно выполняет следующие действия: задает правила изменения модели, проводит изменения и вырабатывает план экспериментов. Правила изменения модели задаются продукциями «Если-То»: условная часть правила «Если» представляет собой правила анализа «узких мест» модели и описывается одноименным хранилищем данных, исполнительная часть правила «То» представляет собой правила синтеза модели и также описывается одноименным хранилищем данных. Результаты применения полученных правил к выбранной модели МППР помещаются в хранилища данных «Результаты анализа» и «Результаты синтеза». На последнем шаге происходит формирование плана экспериментов, включающего в себя информацию о необходимости проведения экспериментов с рядом моделей МППР, полученных в ходе структурных/параметрических изменений исходной модели. Данная

информация заносится в хранилища данных «Эксперимент» и «План эксперимента».

Диаграмма прецедентов UML [111] описывают варианты использования проектируемого ПК визарда анализа и синтеза МППР. Построение диаграмм прецедентов осуществлялось в программном продукте BPsim.MSS путем конвертации описанных DFD-диаграмм. Диаграмма прецедентов «Визард реинжиниринга» проектируемого ПК представлена на рис. 3.4.

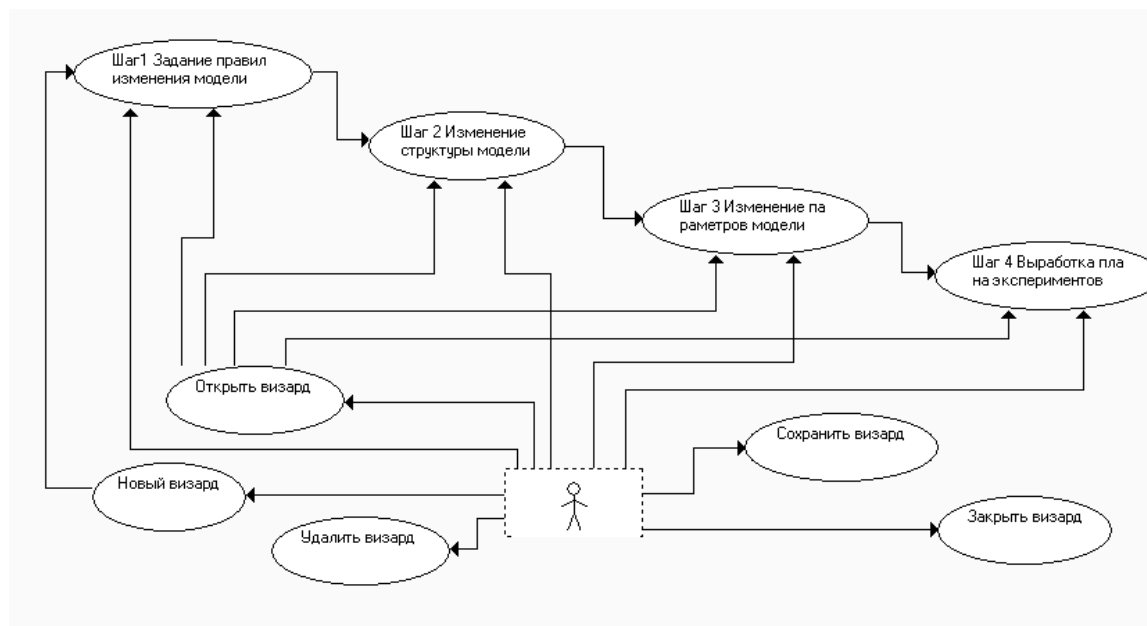
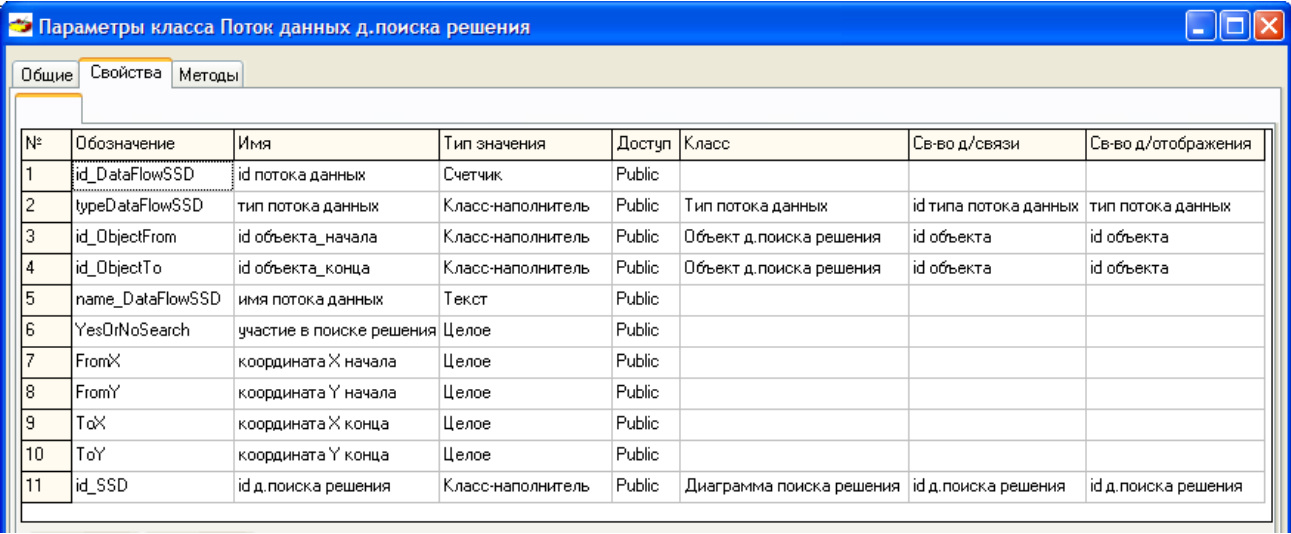


Рис. 3.4. Диаграмма прецедентов UML «Визард реинжиниринга».

3.3. Проектирование диаграммы классов и программная реализация ПК визарда реинжиниринга

Проектирование диаграммы классов ПК визарда РБП осуществлялось путем конвертации хранилищ данных построенной DFD-диаграммы в BPsim.MSS в классы. Рассмотрим на примере описания свойств класса «Поток данных д.поиска решения» определение взаимосвязей между классами концептуальной модели ПК (рис. 3.5). Далее для полученных классов были определены свойства, и для отдельных

классов, представляющих собой справочники типов объектов, описаны экземпляры. Спроектированная диаграмма классов ПК представлена на рис. 3.6.



№	Обозначение	Имя	Тип значения	Доступ	Класс	Св-во д./связи	Св-во д./отображения
1	id_DataFlowSSD	id потока данных	Счетчик	Public			
2	typeDataFlowSSD	тип потока данных	Класс-наполнитель	Public	Тип потока данных	id типа потока данных	тип потока данных
3	id_ObjectFrom	id объекта_начала	Класс-наполнитель	Public	Объект д. поиска решения	id объекта	id объекта
4	id_ObjectTo	id объекта_конца	Класс-наполнитель	Public	Объект д. поиска решения	id объекта	id объекта
5	name_DataFlowSSD	имя потока данных	Текст	Public			
6	YesOrNoSearch	участие в поиске решения	Целое	Public			
7	FromX	координата X начала	Целое	Public			
8	FromY	координата Y начала	Целое	Public			
9	ToX	координата X конца	Целое	Public			
10	ToY	координата Y конца	Целое	Public			
11	id_SSD	id д. поиска решения	Класс-наполнитель	Public	Диаграмма поиска решения	id д. поиска решения	id д. поиска решения

Рис. 3.5. Описание свойств класса «Поток данных д.поиска решения» в BPSim.MSS.

Поток данных принадлежит определенной диаграмме поиска решения и связывает между собой два объекта этой диаграммы. Следовательно, класс «Поток данных д.поиска решения» необходимо связать с классами «Диаграмма поиска решения» и «Объект д.поиска решения».

Взаимодействие между классами определяется на этапе описания свойств классов путем заполнения соответствующих атрибутов. Так, атрибут «Тип значения» должна содержать значение «Класс-наполнитель», атрибут «Класс» - выбранный из списка класс для связи (рис. 3.7), атрибут «Свойство для связи» - выбранное свойство класса, с которым необходимо определить взаимодействие (рис. 3.8).

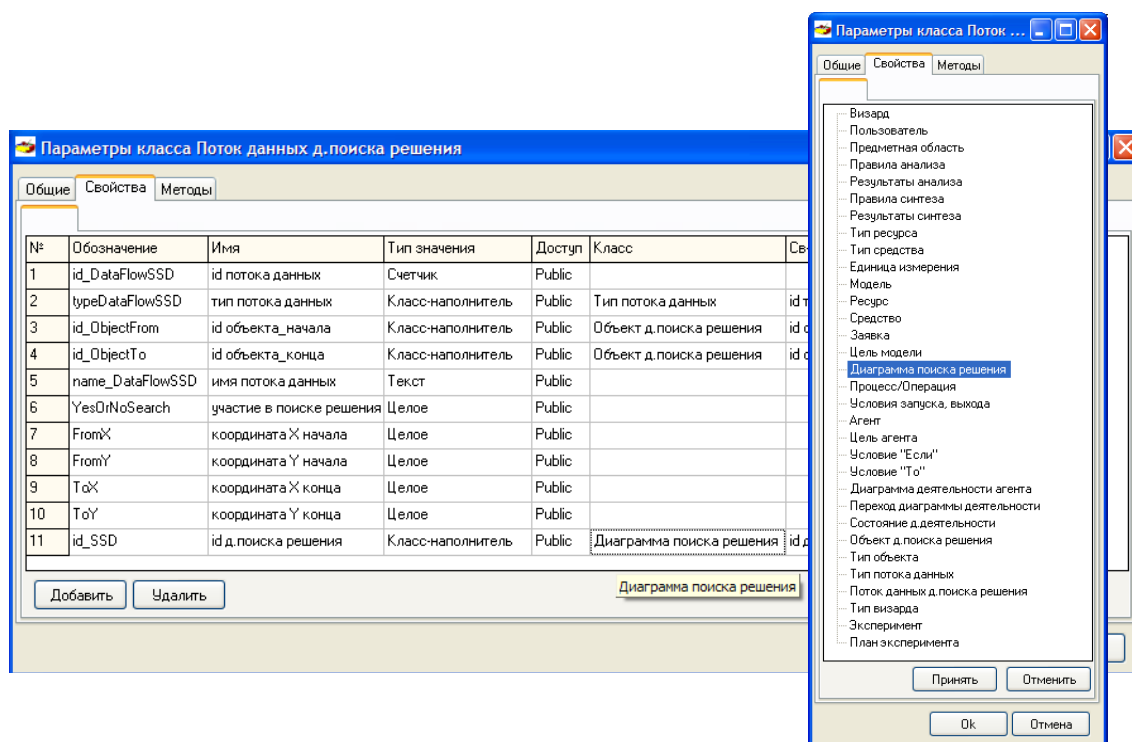


Рис. 3.7. Заполнение атрибута «Класс» таблицы свойств класса.

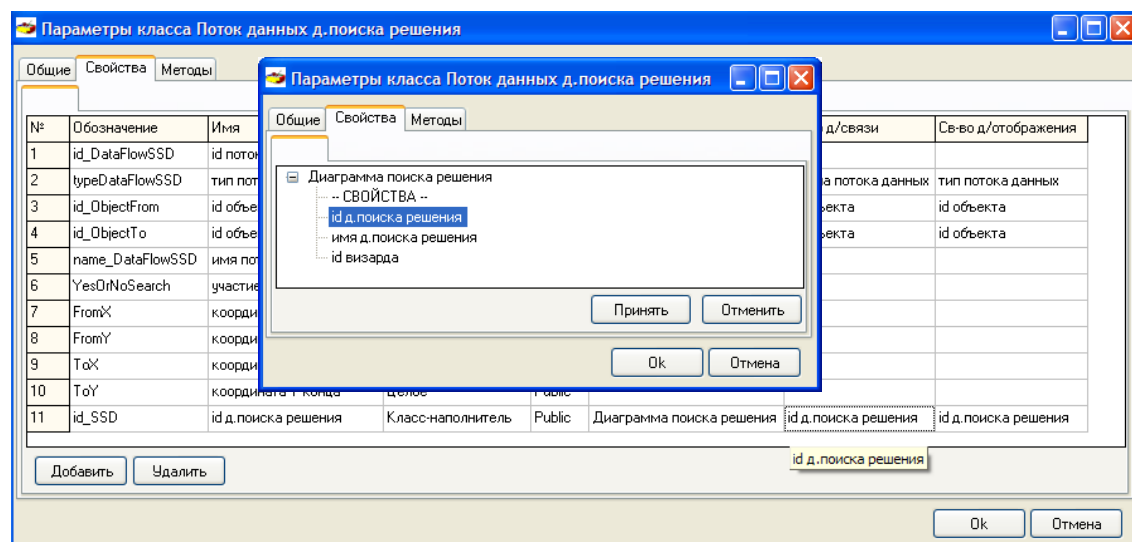


Рис. 3.8. Заполнение атрибута «Свойство для связи» таблицы свойств класса.

Классы, представляющие собой справочники типов объектов (визардов, средств, ресурсов, объектов и потоков данных диаграммы поиска решения) были наполнены экземплярами при помощи свойства контекстного меню класса «Экземпляры класса». Пример определения экземпляров класса «Тип объекта» диаграммы поиска решения представлен на рис. 3.9.

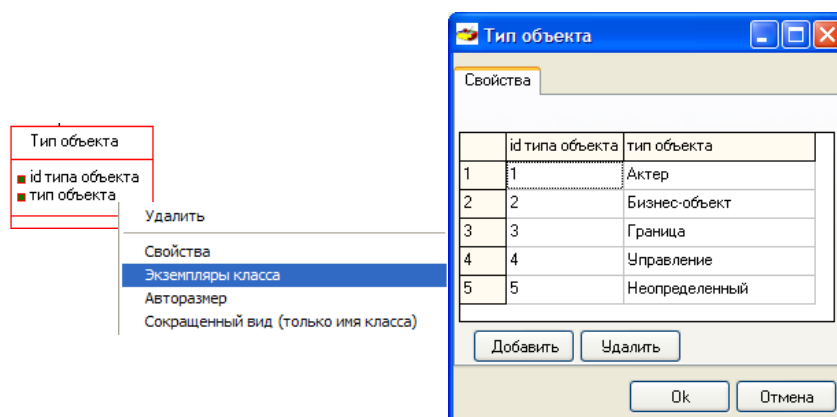


Рис. 3.9. Определение экземпляров класса «Тип объекта».

Полученные в результате описания КМПО классы со свойствами и методами составили основу для проектирования визарда. В дальнейшем был описан алгоритм работы визарда путем детальной расшифровки каждого шага пользователя с DFD-диаграммы при помощи диаграмм прецедентов и последовательностей (поиска решений). Структура визарда представлена на рисунке 3.10.

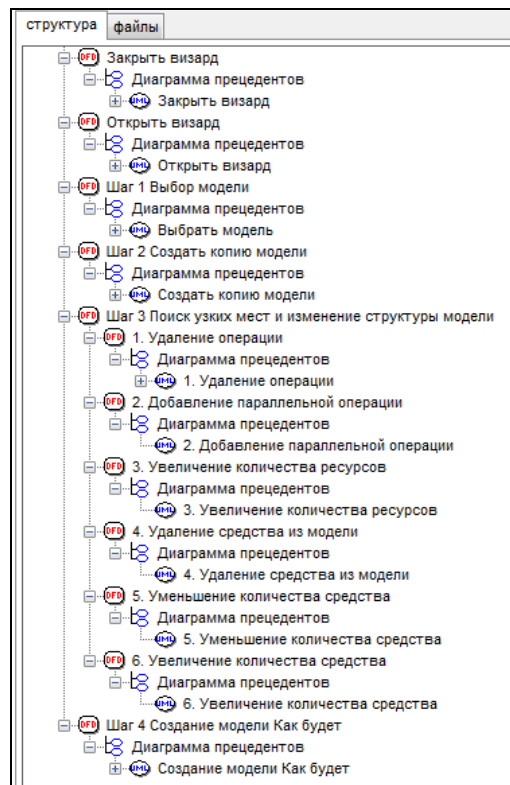


Рис. 3.10. Структура визарда.

В качестве примера приведены диаграммы прецедентов (рис. 3.11) и последовательностей (рисунок 3.12) шага 2 «Создание копии модели».

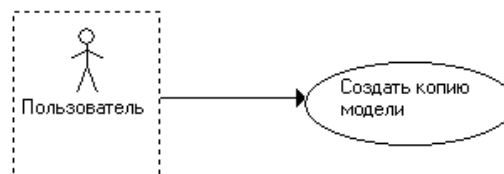


Рис. 3.11. Диаграмма прецедентов «Шаг 2 Создание копии модели».

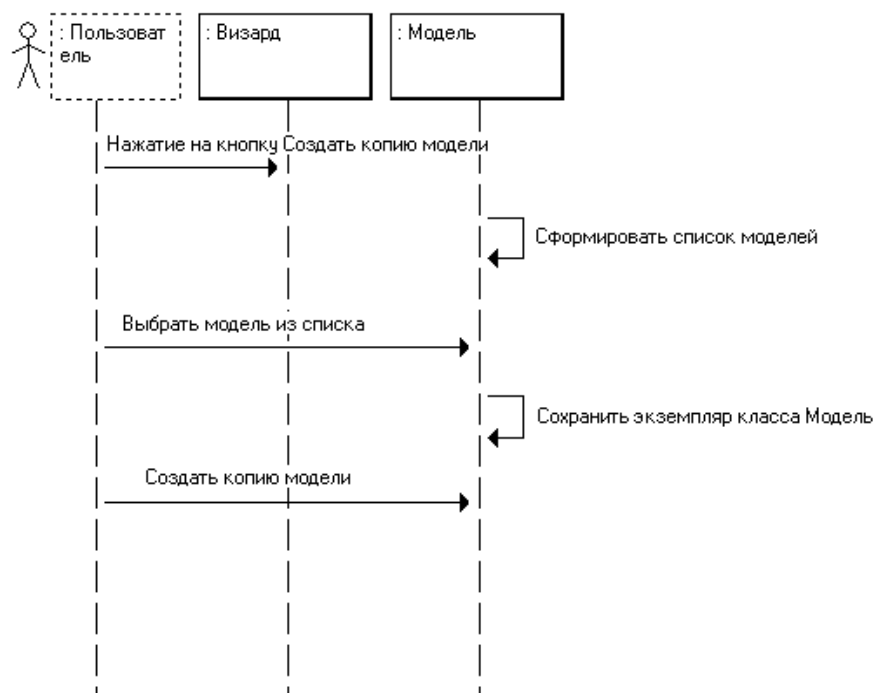


Рис. 3.12. Диаграмма последовательностей «Шаг 2 Создание копии модели».

Методы, используемые при описании диаграмм последовательностей, созданы на языке Transact-SQL и представляют собой манипуляции с информацией, хранящейся в БД визарда. Пример описания методов работы с классом «Модель» представлен на рисунках 3.13-3.15.

Параметры класса Модель					
Общие Свойства Методы					
№	Имя	Тип возв. значения	Доступ	Условие запуска	SQL-текст
1	Сформировать список моделей	Текст	Public	select cnt=count(*) declare @task_name varchar(50)select @task_name	0
3	Сохранить экземпляр класса Модель	Текст	Public	select cnt=count(*) SAVEDATA(##task)	0
4	Создать копию модели	Текст	Public	select cnt=count(*) declare @task_name varchar(50), @task_name	0
5	Выбрать модель из списка	Текст	Public	select cnt=count(*)	0

Рис. 3.13. Методы класса «Модель».

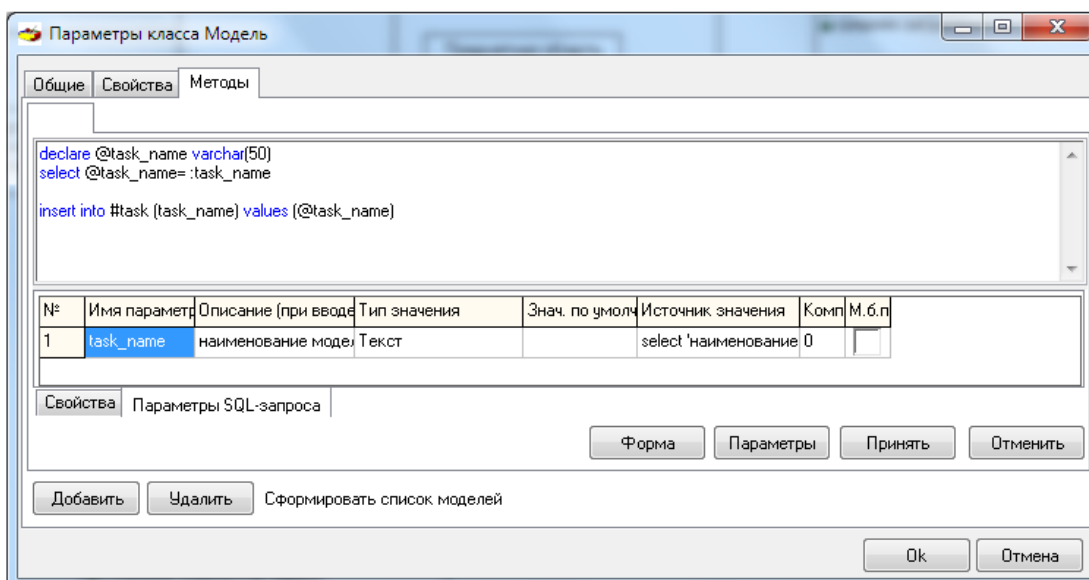


Рис. 3.14. Описание метода «Сформировать список моделей».

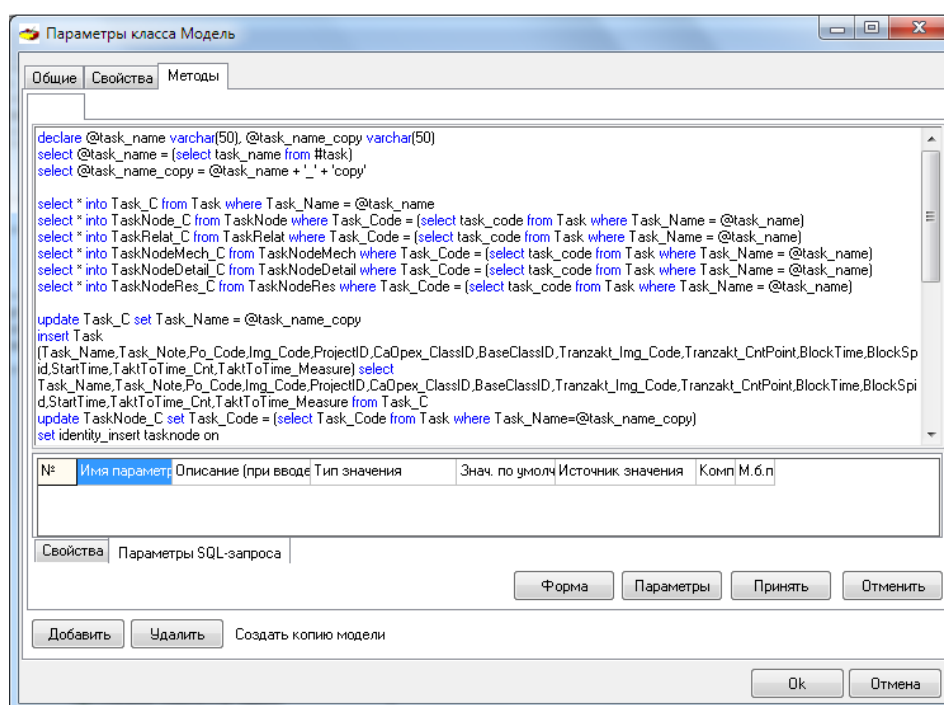


Рис. 3.15. Описание метода «Создать копию модели».

Полученная в результате описания алгоритмов работы модель визарда в дальнейшем была экспортирована из CASE-средства в средства разработки Delphi, C# и Microsoft SQL Server для доработки бизнес-логики и форм пользовательского интерфейса.

Главная форма визарда с возможностью анализа статистики обработки экземпляров заявок модели МППР представлена на рис. 3.16.

Анализ Результаты эксперимент

CY2

Заявка(Message): 52 Номер(ID): Параметр: Message_Nar ReLoad CPM Gantt WorkStat WorkMem

Эксперимент	Message_Name	StatIdentity	StatStart	StatFinish	CPM	StatR	StatZ	StatZ_R	SysNameOp
5. 15.152?	z1	1	1	1	0	0	0	0	w1
2. 15.151?	z1	1	1	2	1	0	1	1	w3
3. 15.152?	z1	1	1	1	0	0	0	0	a33
4. 15.151?	z1	1	2	3	0	1	1	2	w4
21. 15.352?	z1	1	180	180	0	177	0	177	a182
9. 15.252?	z1	1	180	180	1	0	0	0	a183
15. 25.252?	z1	1	180	181	1	0	1	1	w34
27. 25.352?	z1	1	181	202	1	0	21	21	w71
24. 15.353?	z1	1	202	203	1	0	1	1	w35
33. 35.352?	z1	1	203	203	1	0	0	0	a182
60. 35.2Ж2?	z1	1	203	203	1	0	0	0	a183
40. 15.2Ж2?	z1	1	203	204	1	0	1	1	w74
55. 25.2Ж3?	z1	1	204	233	1	0	29	29	w77

Message_name - Имя заявки; StatIdentity - Код экземпляра; StatStart - Время захвата заявки; StatFinish - Время освобождения заявки; CPM - Принадлежность к критическому пути; StatR - Время ожидания(R); StatZ - Время обслуживания(Z); StatZ_R - Z+R; OP - Систем имя OP; Ex_NO - Номер эксперимента

Рис. 3.16. Главная форма. Анализ статистики обработки заявок.

Формы пользовательского интерфейса визарда представлены на рис. 3.17-3.18.

Найти узких мест

Выбор параметра модели:

<input type="checkbox"/> Очередь к операции	Малый [0..Кор1]	Высокий [Кор2..0]
<input type="checkbox"/> Q_Or_CP Операции	0.4	0.8
<input type="checkbox"/> Q_Or_CP Агент	0.4	0.8
<input type="checkbox"/> Коэффициент использования операции	[0..Кор3]	[Кор4..0]
<input type="checkbox"/> U_Or_CP Операции	0.4	0.9
<input type="checkbox"/> U_Or_CP Агент	0.4	0.9
<input type="checkbox"/> Простой операции из-за средств	[0..Кор5]	[Кор6..1]
<input type="checkbox"/> P_MechOp1	0.4	0.8
<input type="checkbox"/> P_MechOp2	0.4	0.8
<input type="checkbox"/> Простой операции из-за ресурсов	[0..Кор7]	[Кор8..1]
<input type="checkbox"/> P_ResOp1	0.4	0.8
<input type="checkbox"/> P_ResOp2	0.4	0.8
<input type="checkbox"/> Коэффициент использования средства	[0..Kmech1]	[Kmech2..1]
<input type="checkbox"/> U_CP	0.4	0.8

Вычисления Сохранение в Excel

Рис. 3.17. Форма задания параметров правил анализа узких мест модели.

33						
Выбор интервала анализа: T0:= 200 T1:= 250						
Вычисления						
Операции	Qop	Uop	Pmechop	PresOp	Ucr	Правила изменения
W28	0.678	0.684	0.414	0.612	0.186	Добавление средства в операцию
W34	0.007	0.009	0.55	0.391	0.814	Уменьшение начального количества ресур
W44	0.501	0.506	0.148	0.103	0.668	Добавление средства в операцию
W52	0.617	0.621	0.729	0.41	0.166	Добавление средства в операцию
W56	0.978	0.983	0.702	0.018	0.175	Добавление параллельной цепочки опера
W66	0.767	0.77	0.798	0.459	0	Удаление средства из модели
W74	0.027	0.032	0.38	0.633	0.106	Уменьшение количества средства в модел
W79	0.472	0.474	0.916	0.702	0.168	Добавление средства в операцию
W88	0.877	0.884	0.658	0.624	0.543	Добавление параллельной цепочки опера
W93	0.606	0.613	0.488	0.335	0.783	Добавление средства в операцию
W94	0.359	0.365	0.619	0.043	0.186	Уменьшение начального количества ресур
W104	0.429	0.438	0.32	0.693	0.282	Добавление средства в операцию
						Операторы синтеза
						7AddMechOp
						4DecreaseRes
						7AddMechOp
						7AddMechOp
						9AddParallelChainOp
						1DeleteMechModel
						2DecreaseMech
						7AddMechOp
						9AddParallelChainOp
						7AddMechOp
						4DecreaseRes
						7AddMechOp

Рис. 3.18. Форма анализа коэффициентов использования.

Форма просмотра сетевого графика модели проекта (портфеля проектов), реализованная на основе анализа статистики обработки заявок (транзактов) имитационной модели представлена на рис. 3.19.

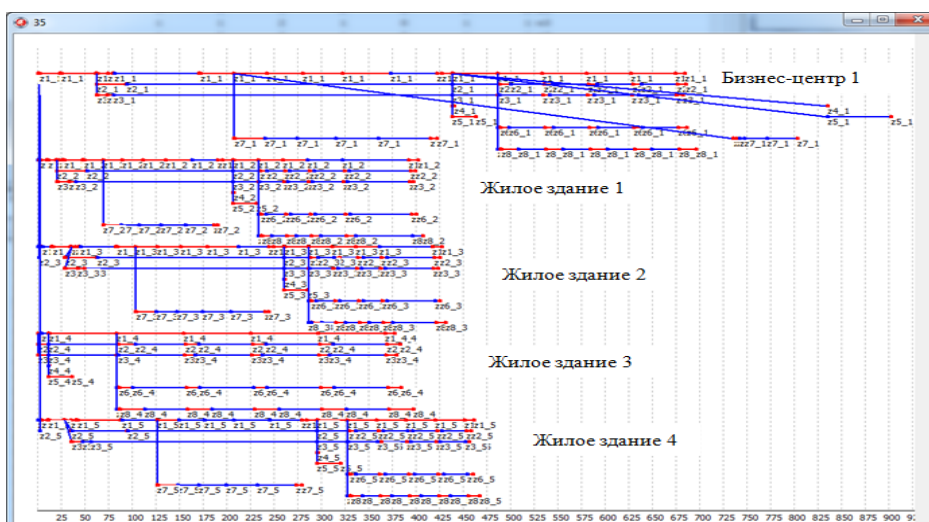


Рис. 3.19. Форма просмотра сетевого графика модели проекта (портфеля проектов, состоящего из 5 объектов строительства).

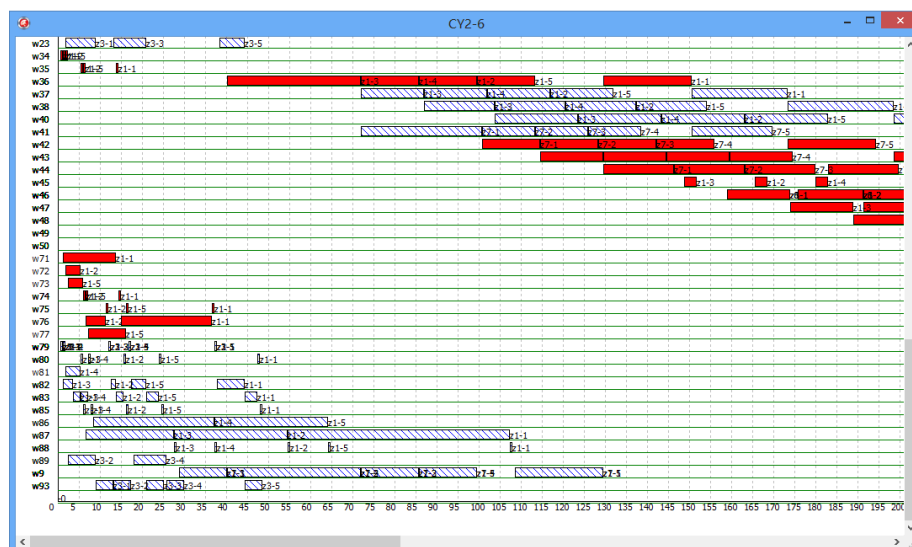


Рис. 3.20. Форма представления результатов эксперимента в виде диаграммы Ганта.

В результате был разработан визард реинжиниринга модели МППР реализованный с использованием инструментов BPsim.MSS, BPsim.SD, Delphi, C# и Microsoft SQL Server.

3.4. Выводы

1. На основе теоретических результатов, предложенной во второй главе, были разработаны:
 - интеллектуальный агент (визард) реинжиниринга бизнес-процесса;
 - интерфейсы интеллектуальной СППР задачи реинжиниринга, ориентированные на конечного пользователя;
 - программное, информационное, алгоритмическое, методическое обеспечение программного комплекса поддержки задачи реинжиниринга.
2. Разработанная информационная технология реинжиниринга, построенная на основе продуктов семейства «BPsim», обладает полным перечнем функциональных возможностей, предъявляемых к проблемно-ориентированной СППР реинжиниринга, и отличается:
 - полным набором функциональных возможностей мультиагентной СППР реинжиниринга;
 - наличием средств визуального проектирования концептуальной модели предметной области;
 - поддержкой функции анализа «узких мест»;
 - возможностью анализа альтернативных решений синтеза процесса в режиме диалога;
 - поддержкой русского языка;
 - стоимостью на порядок ниже зарубежных аналогов.

4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕИНЖИНИРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ К ЗАДАЧЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

4.1. Описание задач принятия решений в области строительства

Строительная отрасль является динамично развивающейся областью, требующей применения новых технических решений. Первые лица строительных компаний и холдингов, а также ЛПР, сталкиваются в процессе принятия решений в сфере управления с многокритериальным выбором между различными альтернативами по обеспечению выполнения в срок всех этапов строительных работ. Эффективное планирование строительных работ является залогом достижения заданных показателей продолжительности строительства и стоимости возводимых объектов. Динамичный характер строительного производства и окружающей среды, риски возникновения непредвиденных ситуаций требуют от ЛПР быстрого реагирования и гибкой корректировки разработанных планов. Разработка имитационной модели в сфере управления строительной компанией (холдингом) является актуальной в связи с возрастающей потребностью в автоматизации труда ЛПР по планированию и отслеживанию хода строительных работ.

В процессах принятия решений и управления строительством используются проблемно-ориентированные системы сетевого планирования (такие как MS Project и TimeLine), также, на практике, встречается применение систем имитационного моделирования (СИМ), в которых модель настраивается под конкретные нужды или существуют готовые шаблоны формализации проблемной области (ARIS с модулем eM-Plant, Arena, AnyLogic, BPsim). Автоматизация процесса принятия

решений в управлении строительством на основе ситуационных моделей сетевого планирования описана в [70].

Задача управления строительными работами подразумевает под собой выполнение двух подзадач: 1) планирование сроков работ с распределением ресурсов (трудовых собственных и субподрядных, материально-технических собственных и арендованных, денежных собственных и инвестированных) по отдельным работам; 2) отслеживание в процессе выполнения работ изменений внешней и внутренней среды, оперативную корректировку плана работ с целью достижения их эффективного исполнения с учетом временных, финансовых и ресурсных ограничений.

Решение выделенных задач можно рассматривать под разными углами. Традиционно ЛПР используют при планировании работ методы критического пути (CPM) и PERT (Project Evaluation and Review Technique) – технику оценки и анализа проектов. В рамках данного метода ЛПР осуществляет с помощью специализированных инструментов (например, MS Project, TimeLine) построение диаграмм взаимосвязи событий и работ, характеризующихся длительностью, стоимостью и необходимыми ресурсами. Примерами подобных диаграмм служат сетевые графики и диаграммы Ганта. На основе метода критического пути с помощью сетевых графиков ЛПР выделяют «узкие места» в планировании строительных работ и осуществляют генерацию альтернативных вариантов смещения работ с целью устранения «узких мест», таких, как перегрузка собственных ресурсов, превышение лимита стоимости отдельных работ, в том числе вследствие использования большого объема субподряда. В дальнейшем, полученные варианты планирования реализуются в ряд сетевых диаграмм взаимосвязи работ и событий, анализируя которые ЛПР выделяют наиболее эффективное решение с учетом существующих ограничений.

Недостатком подобного подхода к планированию строительных работ является частичная автоматизация труда ЛПР по построению сетевых

графиков/диаграмм Ганта и выявлению «узких мест» в планировании, в то время как существенный объем работ по генерации альтернативных вариантов планирования и выбору наиболее эффективного варианта осуществляется ЛПР вручную на основании квалификации, опыта и применяемых эвристик учета различных факторов среды. В связи с этим рассмотрим другой подход к решению задачи управления строительными работами – использование имитационного мультиагентного моделирования.

Формализуем процессы управления строительными работами с помощью модели МППР, которая позволяет в динамике оценить показатели выполнения и стоимости процессов (время выполнения, наличие дублирующих функций, стоимость процесса, затраты на заработную плату сотрудников и т.д.), а также оценить показатели эффективности процессов (рентабельность, отношение времени исполнения ко времени ожидания, отношение фактического времени исполнения к плановому времени). Применение мультиагентного моделирования обеспечивает с помощью базы знаний ИА формализацию модели ЛПР и накопленных сценариев решения задач в области управления строительными работами. Преимущества модели МППР и реализующей данную модель СДМС BPsim.MAS по сравнению с упомянутыми ранее СИМ заключаются в проблемной ориентации модели на процессы преобразования ресурсов, использовании в модели агентного подхода, ориентации системы на непрограммирующего пользователя.

4.2. Информационная поддержка процесса строительства

Применение технологии гибридных агентов МППР и ИА РБП для формализации процессов управления строительными работами позволяет автоматизировать функции ЛПР по генерации альтернативных вариантов решения различных задач: поиску инвесторов и поставщиков материалов,

выбору субподрядных организаций, обнаружению и ликвидации «узких мест» в планировании и организации строительных работ. Использование технологии гибридного агента предполагает описание предметной области с помощью различных по функциональности программных продуктов, интегрированных в единую систему поддержки принятия решений: СДМС BPsim.MAS и системы ТЭП BPsim.MSS. Система ТЭП BPsim.MSS реализует технологию ИА, обеспечивающую пользователя инструментом разработки проблемно-ориентированных интеллектуальных систем. Технология ИА позволяет автоматизировать труд ЛПР по решению задач анализа и синтеза ОТС, таких как реинжиниринг бизнес-процессов, управление проектами, управление строительными работами.

За основу динамической модели процессов проектирования и строительства, реализованной в BPsim.MAS, взята модель МППР, которая обеспечивает поддержку планирования работ и оценки различных проектов самостоятельной застройки. Модель поиска решений, реализованная в BPsim.MSS, лежит в основе поиска эффективных решений многокритериальных задач управления строительными работами: управления текущими процессами строительства и проектирования. В результате интеграции предложенных моделей достигается комплексная автоматизация труда ЛПР по управлению строительным холдингом.

4.3. Разработка моделей строительного холдинга CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING WANGXIANG.LTD)

В ходе обследования предметной области были выявлены следующие этапы управления строительными работами: формирование бизнес-плана, отражающего предполагаемые экономические показатели деятельности холдинга при определенных начальных условиях, получение кредита на строительство, участие в тендере на строительство, планирование проектных и строительных работ, проведение проектных и строительных

работ, осуществление продажи/сдачи в аренду площадей возведенных объектов.

В инструменте BPsim.MSS были описаны основные классы, отражающие содержание баз данных холдинга по поставщикам материалов, характеристикам земельных участков, субподрядным организациям, структуре холдинга, кредитным организациям и т.д. На основании разработанной диаграммы классов был спроектирован ИА бизнес-планирования, обеспечивающий в автоматизированном режиме генерацию альтернативных вариантов бизнес-планов строительных работ. ЛПР осуществляет оценку предложенных планов и выбор более выгодного с экономической точки зрения плана. На рис. 4.1 представлена диаграмма поиска решений ИА бизнес-планирования.

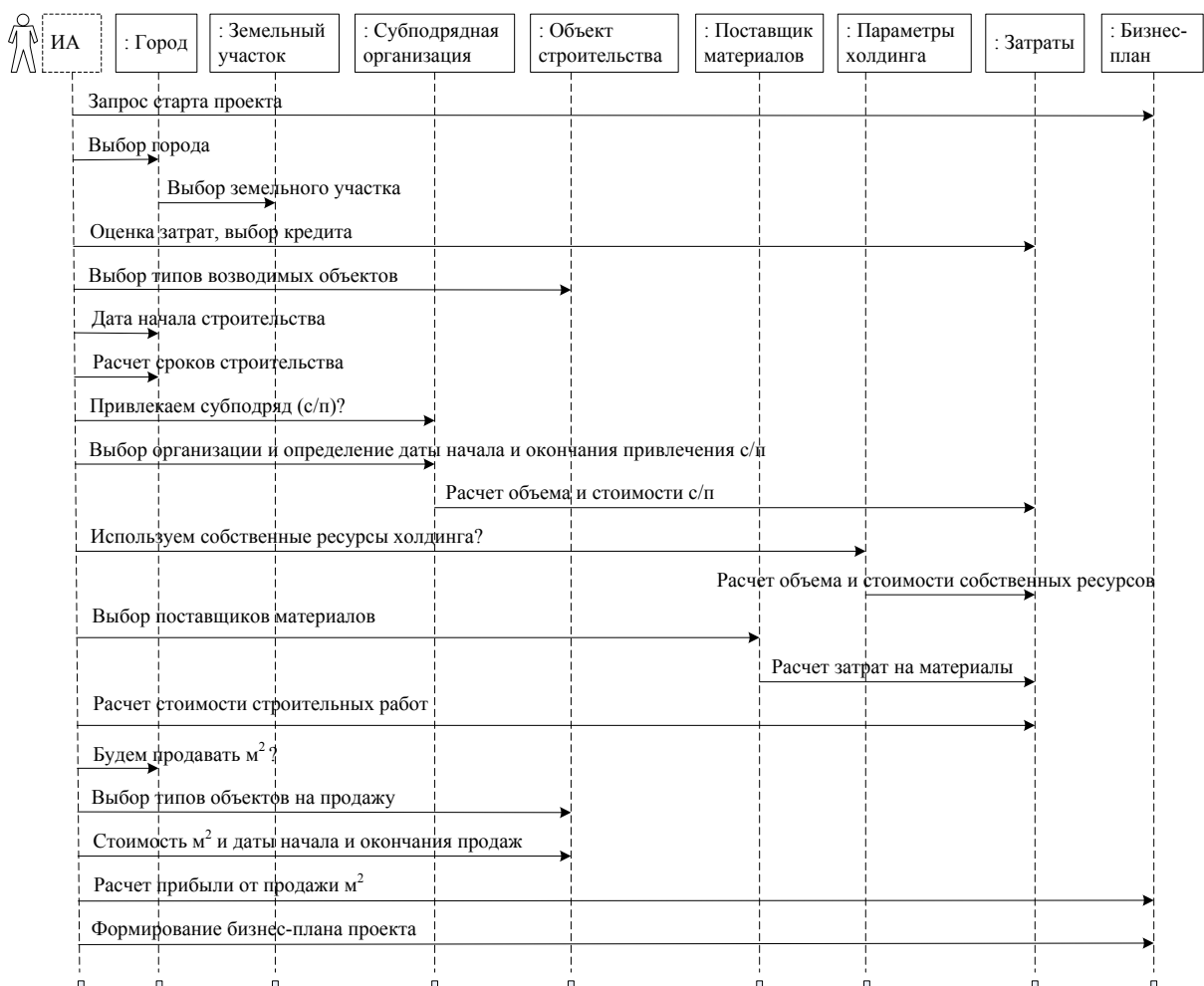


Рис. 4.1. Диаграмма поиска решений ИА бизнес-планирования строительных работ

Начальные условия выбранного бизнес-плана подаются на вход разработанной в BPsim.MAS имитационной модели МППР проектных и строительных работ. Модель предназначена для оценки влияния управляющих решений на динамические характеристики процессов проектирования и строительства холдинга «Wan Bao». К данным характеристикам относятся: фактическая стоимость процессов, перераспределение ресурсов (денежных, материальных и трудовых) между процессами, простои в работах, перегрузки отдельных процессов, выявленные процессы, требующие подключения субподрядных ресурсов, фактические суммарные объемы рабочей силы и материалов, фактическая длительность процессов. Оценку характеристик среды осуществляют в модели интеллектуально-реактивные агенты.

Рассмотрим описание БЗ следующих агентов: агента операций *AOp*, отвечающего за выявление в модели операций, требующих подключение субподряда; агента распределения *AP*, реализующего захват заявки на выполнение операции и распределение ресурсов холдинга *Rхолд* и субподрядных ресурсов в процессе выполнения операции *Op*. Описанные атрибуты заявки *z* на выполнение операций представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Определение атрибутов заявки *z* на выполнение операции *Op*

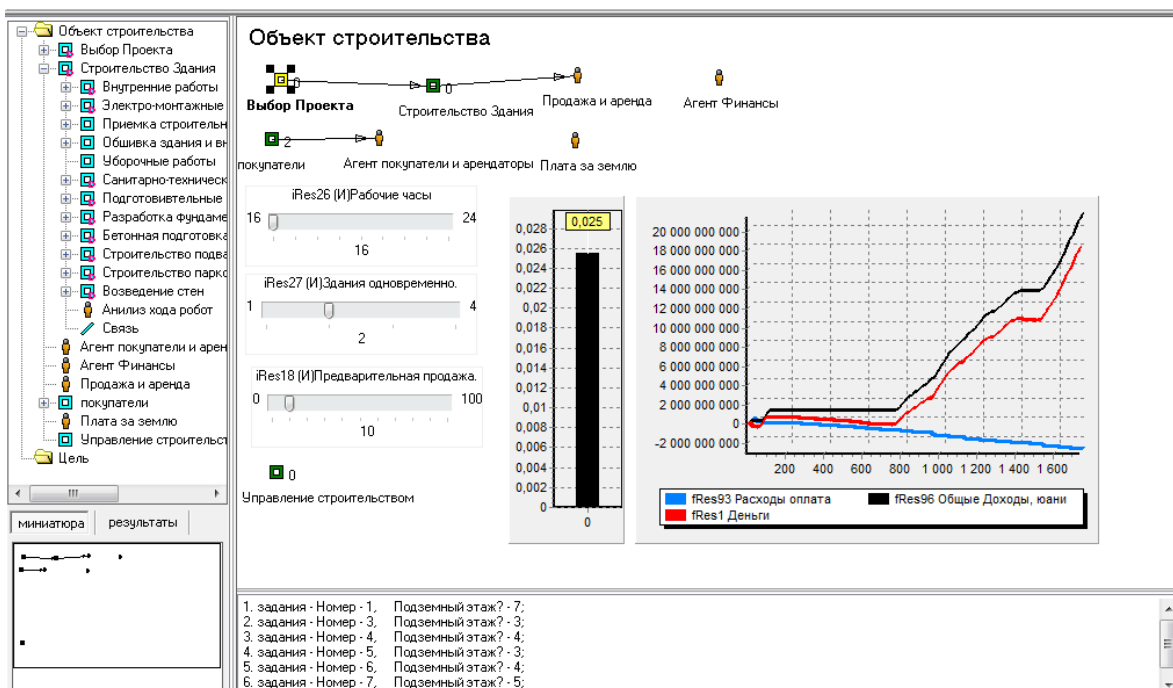
Обозначение	Описание
<i>z_p</i>	Требуемые трудозатраты на выполнение операции <i>Op</i>
<i>z_s</i>	Трудозатраты по операции <i>Op</i> , отнесенные на субподряд
<i>z_time</i>	Оставшееся время выполнения операции <i>Op</i>
<i>z_pr</i>	Признак привлечения субподряда для выполнения операции <i>Op</i> : 0 – не привлекаем субподряд; 1 – привлекаем субподряд
<i>z_owner</i>	Узел-владелец заявки <i>z</i> (агент <i>AOp</i> или <i>AP</i> , операция <i>Op</i> , следующий узел модели <i>NextNode</i>)
<i>z_d</i>	День начала операции <i>Op</i>
<i>z_m</i>	Месяц начала операции <i>Op</i>

В ходе разработки БЗ агентов были использованы следующие операторы работы с заявками: $Select(z, Node)$ – заявка z захвачена узлом $Node$; $Select(z, Node) \neq 1$ – заявка z не захвачена узлом $Node$. Также при описании БЗ были использованы переменные, сопоставляющие время имитации и календарное время: $iRes43$ – текущий день, $iRes44$ – текущий месяц. Описание БЗ агентов AOp и AP и операции Op приведено в таблице 4.2.

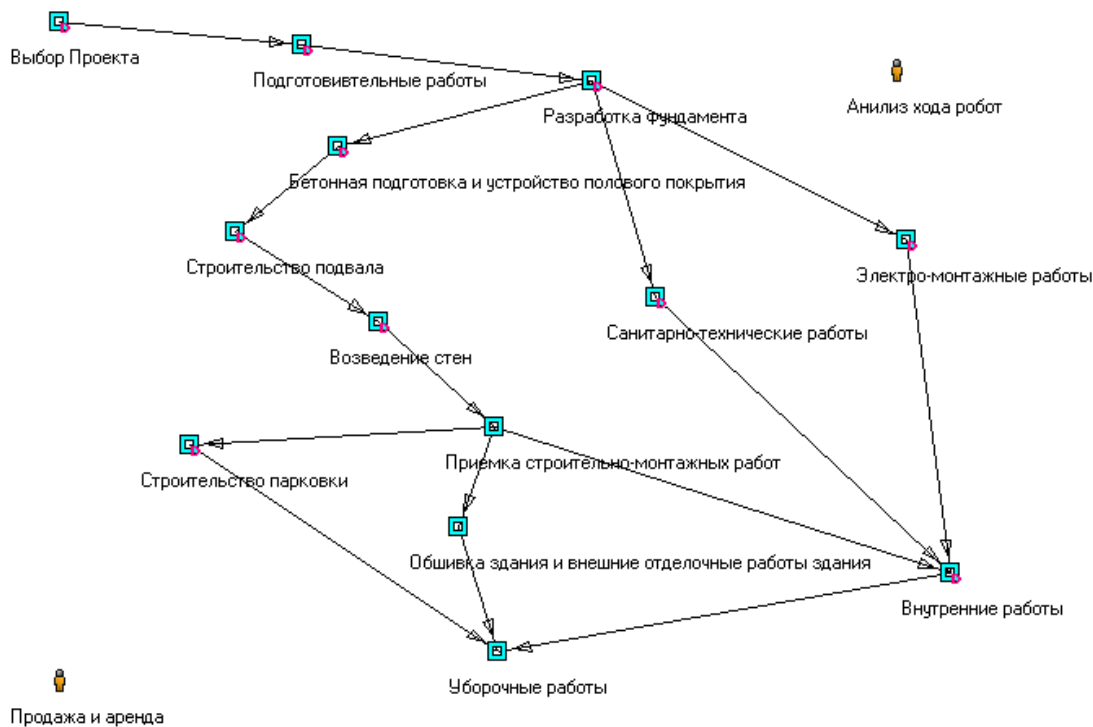
Таблица 4.2 - БЗ агентов распределения и описание узлов-операций

База знаний агента операции AOp		
Описание ситуации	Условие IF	Условие THEN
Субподряд для выполнения операции не требуется, достаточно своих ресурсов	Select(z,AOp)	Rхолд:= Rхолд-z_p
	(iRes43=z_d)&(iRes44=z_m)	z_pr:=0
	z_p≤Rхолд	z_owner:"Op"
Субподряд для выполнения операции требуется, недостаточно своих ресурсов	Select(z,AOp)	z_s:=z_p - Rхолд
	(iRes43=z_d)&(iRes44=z_m)	Rхолд:=0
	z_p>Rхолд	z_pr:=1
		z_owner:"Op"
Условия запуска и ресурсы на выходе операции Op		
Длительность	Условия запуска	Ресурсы на выходе
z_time	Select(z,Op)	Rхолд:=Rхолд+z_p
	z_pr=0	z_owner:"NextNode"
База знаний агента распределения AP		
Описание ситуации	Условие IF	Условие THEN
Захват агентом AP заявки с требованием субподряда при условии незанятости агента	Select(z,AP)<>1	z_owner:"AP"
	Select(z,Op)	
	z_pr=1	
Время выполнения операции закончилось	Select(z,AP)	Rхолд:= Rхолд+z_p - z_s
	z_time=0	z_owner:"NextNode"
Время выполнения операции не закончилось и субподряд уже не требуется	Select(z,AP)	z_pr:=0
	z_time>0	Rхолд:= Rхолд-z_s
	Rомд ≥z_s	z_owner:"Op"
Время выполнения операции не закончилось и субподряд еще требуется	Select(z,AP)	z_time:= z_time-1
	z_time>0	
	Rхолд<z_s	

На рис. 4.2.а представлена структура модели МППР процессов строительных работ в BPsim.MAS, на рис. 4.2.б - декомпозиция узла «Строительство здания».



а) Структура имитационной модели процессов строительных работ Строительство Здания



б) Декомпозиция узла модели «Строительство здания»

Рис. 4.2. Вид имитационной модели процессов строительных работ в BPsim.MAS

4.4. Реинжиниринг имитационной модели строительного холдинга

В ходе проведения экспериментов с имитационной моделью строительного холдинга «Wan Bao» было установлено, что предложенная в модели детализация строительных работ (более 120 операций, порядка 90 ресурсов) влечет за собой увеличение объема требуемых для проведения эксперимента вычислительных ресурсов и машинного времени. Кроме того, при моделировании строительства двух и более объектов, возникают перегрузки отдельных цепочек операций (изначально была создана модель, позволяющая моделировать одновременно параллельно во времени 1 объект строительства), что ведет к увеличению очередей заявок и простоем дальнейших работ. Для устранения узких мест было проведено совершенствование модели МППР с помощью ИА реинжиниринга и применения процедур свертки/развертки и реинжиниринга. Описание отдельных этапов строительных работ представлено на рис. 4.3-4.4 и панель отслеживания результатов экспериментов (загрузка техники, объемы завершеного строительства) представлена на рис. 4.5.



Рис. 4.3. Детализация этапа «Возведение стен»

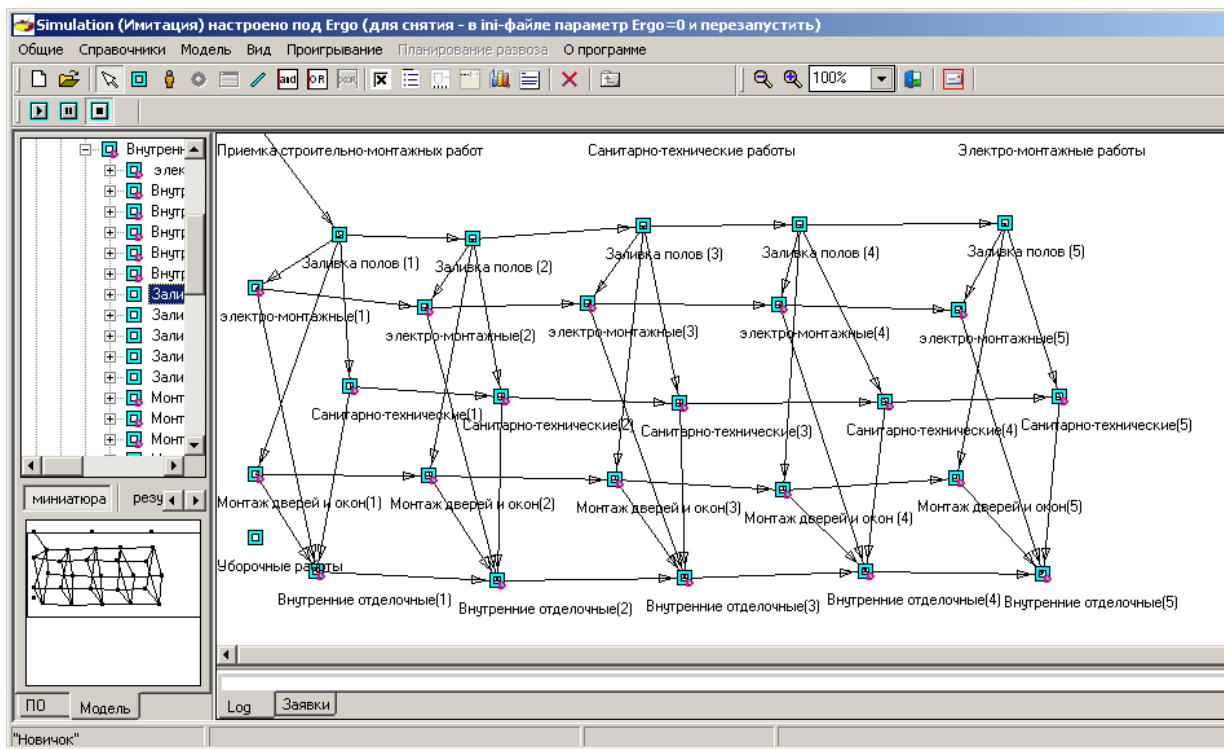


Рис. 4.4. Детализация этапа «Внутренние работы»

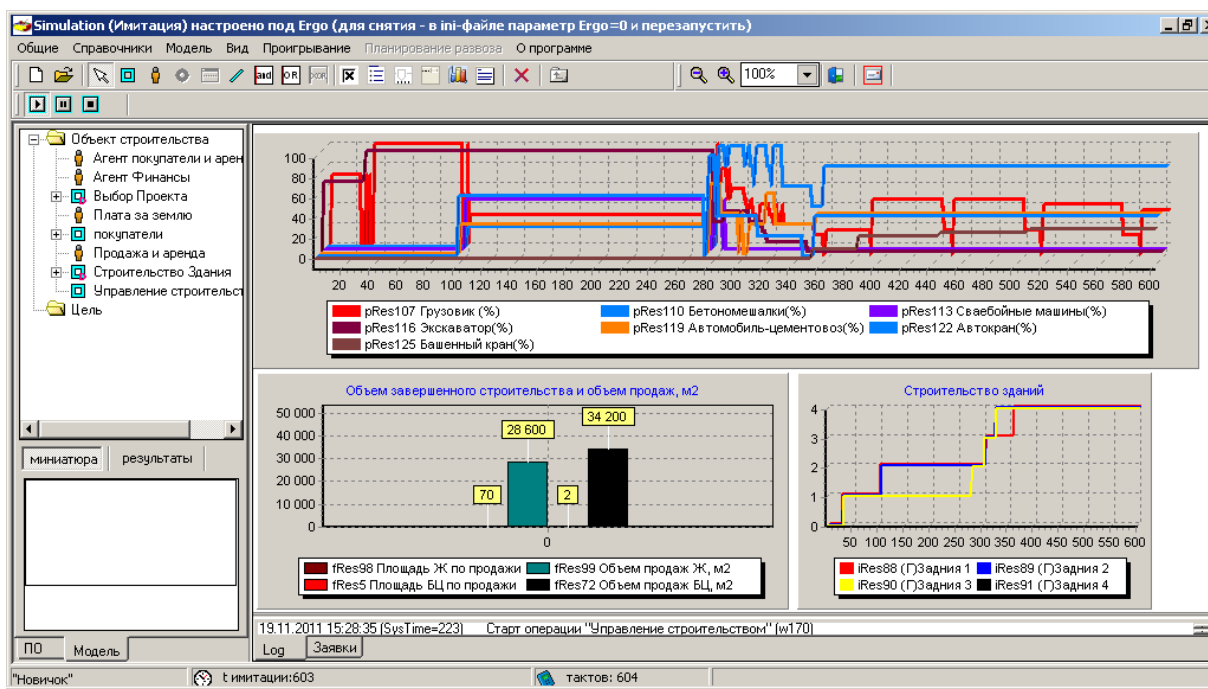


Рис. 4.5. Панель отслеживания результатов экспериментов (загрузка техники, объемы завершеного строительства)

Применение интеллектуального агента реинжиниринга [131] обеспечило проведение анализа узких мест и свертки/развертки модели.

Реинжиниринг операций позволил уменьшить среднее время ожидания в узлах модели и сократить общее время выполнения проекта.

4.5. Проведение эксперимента с моделью строительного холдинга «Wan Bao»

Имитационный эксперимент с моделью строительного холдинга проводился со следующим начальными условиями и упрощениями: 1) осуществление строительства 11 объектов с последующей продажей возведенных площадей; 2) осуществление строительства целиком на деньги кредитных организаций с учетом выплаты беспроцентного кредита; 3) наличие в собственности пригодного для строительства земельного участка; 4) наличие на складе всех необходимых для строительства материалов; 5) расчет прибыли без учетов налогов.

Оценим в динамике следующие выходные характеристики модели: 1) текущие расходы на выплату кредита и заработную плату рабочим $fRes93$; 2) доход от продаж возведенных площадей $fRes96$; 3) остаток на счете $fRes1 = fRes96 - fRes93$, подразумевающий под собой прибыль без учета налогов, процентов по кредиту, стоимости земельного участка и материалов.

Результаты проведенных с моделью МППР экспериментов сохраняются в MS Project и MS Excel. Согласно проведенному эксперименту, тенденции роста остатка денежных средств на счете связаны с окончанием строительства отдельных объектов и существенным увеличением объемов продаваемых площадей.

Данные эксперимента согласуются со статистическими данными работы подразделения строительного холдинга «Wan Bao» на протяжении временного интервала в 5 лет (с июня 2005 по август 2010). Следовательно, можно сделать вывод об адекватности разработанной имитационной модели МППР объекту управления.

Применение метода реинжиниринга при анализе узких мест этапа «Возведение каркаса и монтаж стен» показано в таблице 4.3:

Модель исходная (колонка 1) - На этапах возведения каркаса и монтажа стен не хватает грузовиков и наблюдается простой операций. Агент предлагает увеличить количество грузовиков и свернуть параллельные цепочки.

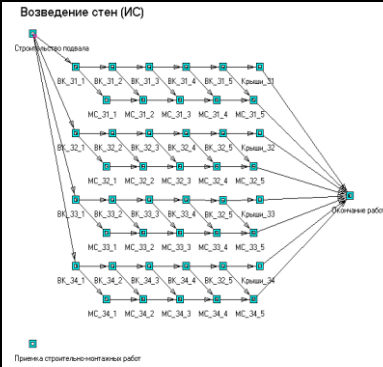
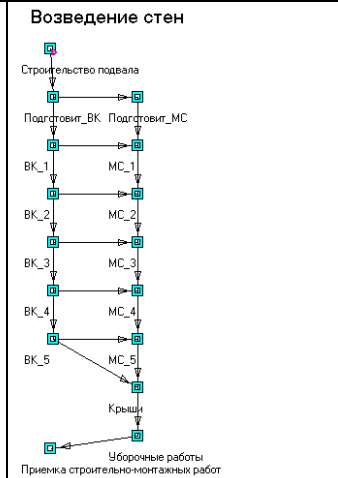
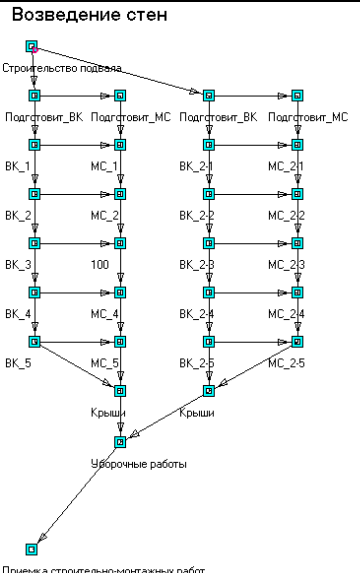
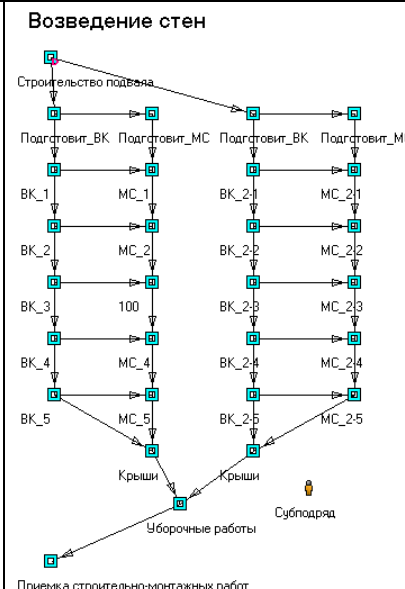
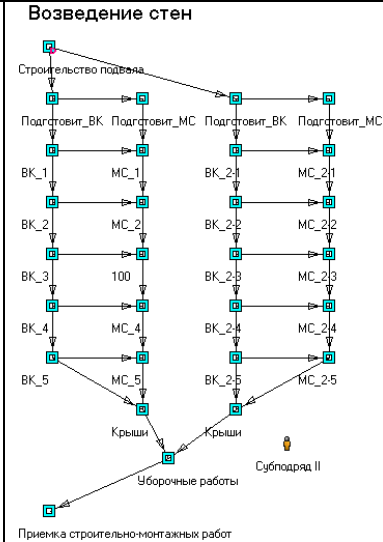
Колонка 2 - Провели свертку модели (убрали 3 параллельные цепочки). Результаты эксперимента не изменились, уменьшилось время эксперимента. Необходимо увеличить количество грузовиков.

Модель исходная 2 (колонка 3) - добавили 30 грузовиков, появились очереди. Вторым шагом провели развертку модели. Развертка модели привела к уменьшению сроков проекта на 213 дней.

Альтернативное решение – привлечение субподряда и уменьшение собственного парка грузовиков (**колонка 4**) – **позволило существенно улучшить характеристики модели**, сокращение длительности проекта еще на 502 дня.

Модель субподряда 2 (колонка 4) за счет улучшения модели агента субподряда позволило сократить длительность проекта еще на 81 день.

Таблица 4.3. Применение метода реинжиниринга при анализе этапа «Возведение каркаса и монтаж стен»

Модель исходная	Модель исходная свернутая	Модель исходная 2	Модель субподряда	Модель субподряда 2
<p>Возведение стен (ИС)</p>  <p>Строительство подвала</p> <p>ВК-Возведение каркаса МС-Монтаж стен</p> <p>Приемка строительно-монтажных работ</p>	<p>Возведение стен</p>  <p>Строительство подвала</p> <p>Подготовит_ВК Подготовит_МС</p> <p>ВК_1 МС_1</p> <p>ВК_2 МС_2</p> <p>ВК_3 МС_3</p> <p>ВК_4 МС_4</p> <p>ВК_5 МС_5</p> <p>Крыши</p> <p>Уборочные работы</p> <p>Приемка строительно-монтажных работ</p>	<p>Возведение стен</p>  <p>Строительство подвала</p> <p>Подготовит_ВК Подготовит_МС Подготовит_ВК Подготовит_МС</p> <p>ВК_1 МС_1</p> <p>ВК_2 МС_2</p> <p>ВК_3 МС_3</p> <p>ВК_4 МС_4</p> <p>ВК_5 МС_5</p> <p>Крыши</p> <p>Уборочные работы</p> <p>Приемка строительно-монтажных работ</p>	<p>Возведение стен</p>  <p>Строительство подвала</p> <p>Подготовит_ВК Подготовит_МС Подготовит_ВК Подготовит_МС</p> <p>ВК_1 МС_1</p> <p>ВК_2 МС_2</p> <p>ВК_3 МС_3</p> <p>ВК_4 МС_4</p> <p>ВК_5 МС_5</p> <p>Крыши</p> <p>Уборочные работы</p> <p>Приемка строительно-монтажных работ</p> <p>Субподряд</p>	<p>Возведение стен</p>  <p>Строительство подвала</p> <p>Подготовит_ВК Подготовит_МС Подготовит_ВК Подготовит_МС</p> <p>ВК_1 МС_1</p> <p>ВК_2 МС_2</p> <p>ВК_3 МС_3</p> <p>ВК_4 МС_4</p> <p>ВК_5 МС_5</p> <p>Крыши</p> <p>Уборочные работы</p> <p>Приемка строительно-монтажных работ</p> <p>Субподряд II</p>
<p>На этапах возведения каркаса и монтажа стен не хватает грузовиков и наблюдается простой операций. Агент реинжиниринга предлагает следующее:</p> <ol style="list-style-type: none"> увеличить количество грузовиков; свернуть параллельные цепочки операций. 	<p>Провели свертку модели (убрали 3 параллельные цепочки). Результаты эксперимента не изменились, уменьшилось время эксперимента. Необходимо увеличить количество грузовиков.</p>	<p>Увеличение количества грузовиков на 30 шт. привело к появлению очередей. Провели развертку модели (добавили параллельную цепочку операций). Развертка модели не привели к существенному уменьшению сроков проекта. Загрузка грузовиков увеличилась до 24,28%.</p>	<p>Альтернативное решение – привлечение субподряда и уменьшение собственного парка грузовиков.</p>	<p>Совершенствование алгоритма агента субподряда (позволяет более эффективно использовать собственные средства).</p>
<p>Операций – 302. Грузовиков – 50 шт. Загрузка грузовиков – 18.07% Длительность проекта – 2078 д. Выручка – 8, 15 млрд. юаней t эксперимента – 7 ч. 19 мин.</p>	<p>Операций – 107. Грузовиков – 50 шт. Загрузка грузовиков - 18.07% Длительность – 2078 д. Выручка – 8, 15 млрд. юаней t эксперимента – 2 ч. 40 мин.</p>	<p>Операций – 129. Грузовиков – 80 шт. Загрузка грузовиков - 24,28% Длительность проекта – 1865 д. Выручка – 8, 04 млрд. юаней t эксперимента – 3 ч. 17 мин.</p>	<p>Операций – 137. Грузовиков – 30 шт. Загрузка грузовиков - 71.21% Длительность проекта – 1363 д. Выручка – 10, 99 млрд. юаней t эксперимента – 5 ч. 26 мин.</p>	<p>Операций – 162. Грузовиков – 30 шт. Загрузка грузовиков - 78.96% Длительность проекта – 1282 д. Выручка – 15, 66 млрд. юаней t эксперимента – 3 ч. 38 мин.</p>

Основные результаты имитационных экспериментов с различными моделями представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Основные результаты экспериментов

		Исходная модель	Исходная модель II	Модель субпод-ряда	Модель субпод-ряда II
Здания одновременно		4	4	4	4
Рабочие часы		20	20	20	20
Предварительная продажа		30%	30%	30%	30%
Грузовики (количество)		50	80	30	30
Коэффициент использования грузовиков, U_k , %		18.07%	24,28%	71.21%	78.96%
Грузовик Субподряд	Максимально	0	0	38	38
	Среднее значение	0	0	5.8	8.2
Экскаватор (количество)		40	40	10	10
Средний % использования экскаваторов		2.62%	3.12%	12.24%	14.60%
Экскаватор Субподряд	Максимально	0	0	24	24
	Среднее значение	0	0	6.33	7.23
Башенный кран	количество	4	4	4	4
	U_k , %	17.40%	23.88%	31.02%	31.71%
Бетономешалки	количество	25	25	25	25
	U_k , %	19.37%	22.40%	27.51%	35.22%
Ресурсов		161	122	126	125
Операций		302	129	137	162
Связей между узлами:		402	141	141	233
Правил агентов		29	29	60	68
Частей «То» правил агентов		221	221	324	612
Время эксперимента		7 часов 19 минут	3 часа 17 минут	5 часов 26 минут	3 часа 38 минут
Доходы, млрд. юани		12,308	10,646	15,482	20,254
Расходы, млрд. юани		4,158	3,247	4,485	4,589
Выручка млрд. юаней		8,151	8,037	10,997	15,665
Срок строительства, дней		2078	1865	1363	1282

Результаты имитационных экспериментов в виде диаграмм Ганта представлены на рис. 4.6. Данные экспериментов исходной модели согласуются со статистикой работы холдинга «Wan Bao». В модели «Субподряд» чужие средства привлекаются в случае нехватки своих средств на выполнение всей операции от ее начала и до ее окончания. В модели «Субподряд 2» на каждом последующем такте происходит пересмотр возможности отказа от привлечения субподряда.

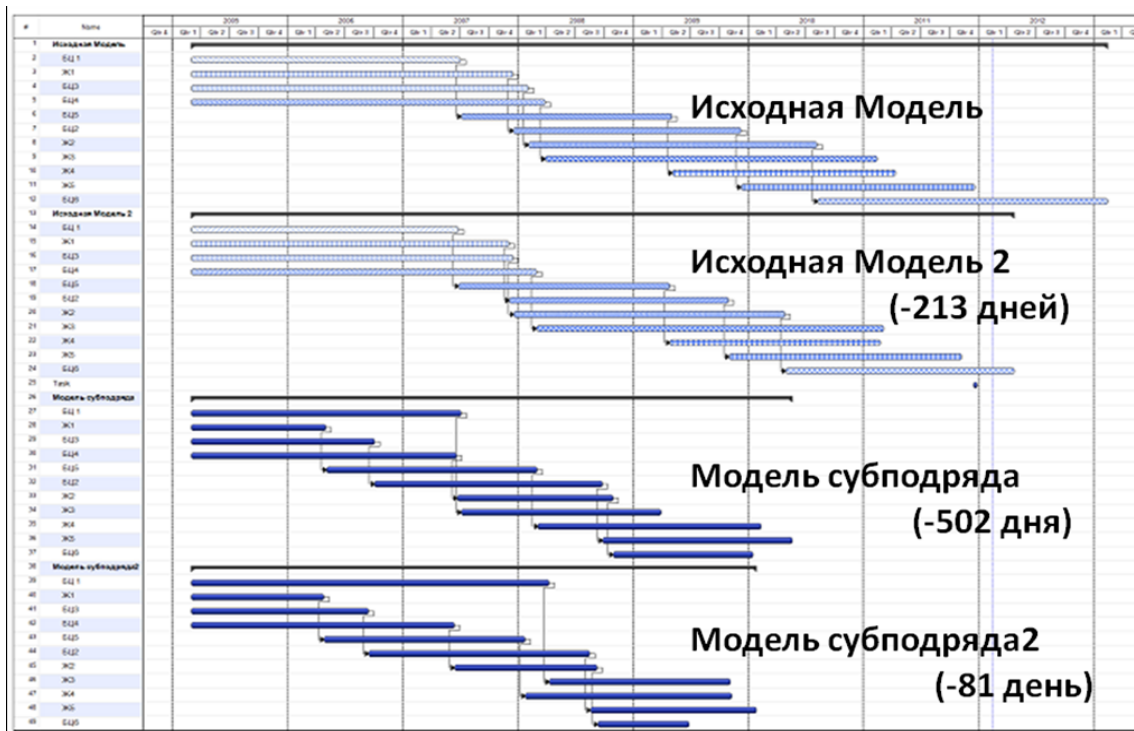


Рис. 4.6. Диаграммы Ганта результатов различных моделей

Динамика использования грузовиков и бетономешалок показана на рис. 4.7.

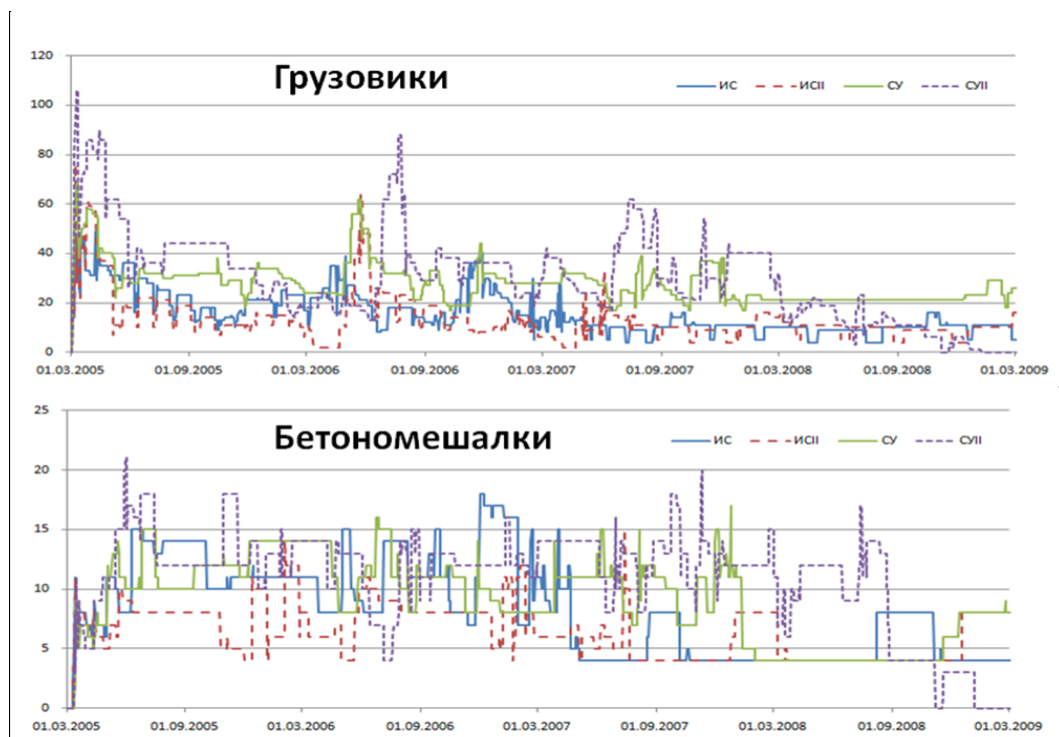


Рис. 4.7. Динамика использования средств

Анализ эффективности использования технических средств в зависимости от вариантов моделей показан на рис. 4.8.

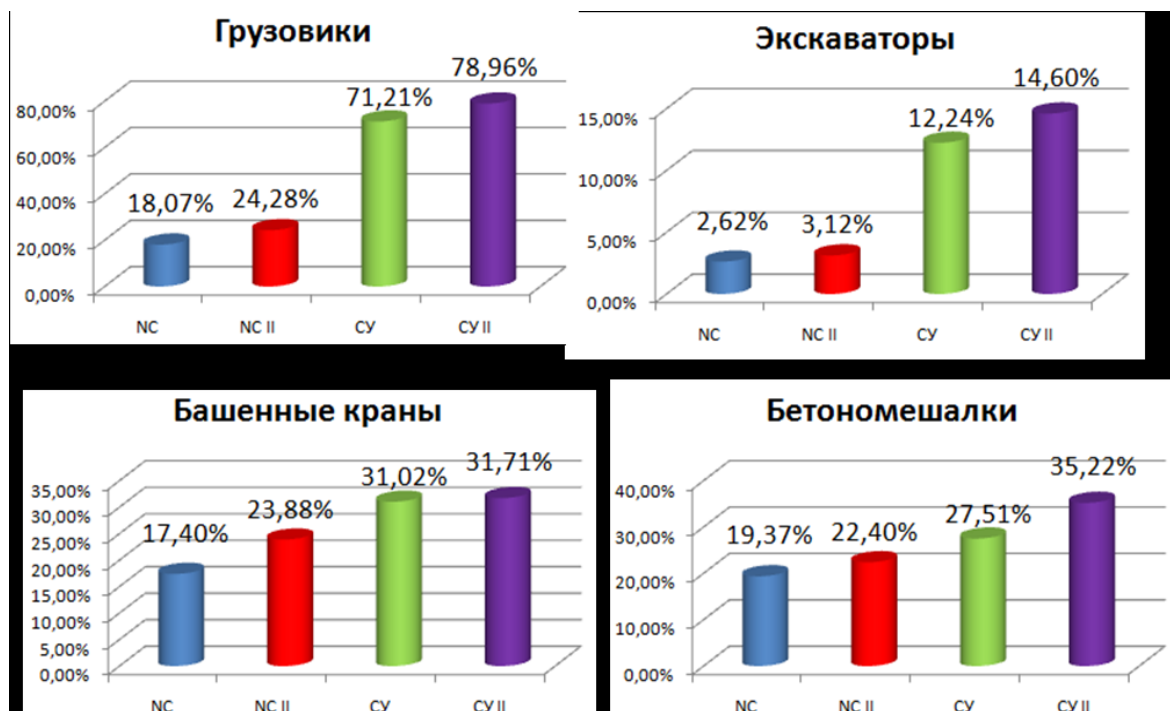


Рис. 4.8. Анализ загрузки средств

Финансовый анализ профилей (рис. 4.9) различных вариантов моделей показал, что наиболее эффективна модель «субподряда 2» с показателем выручки 16 миллиардов юаней.

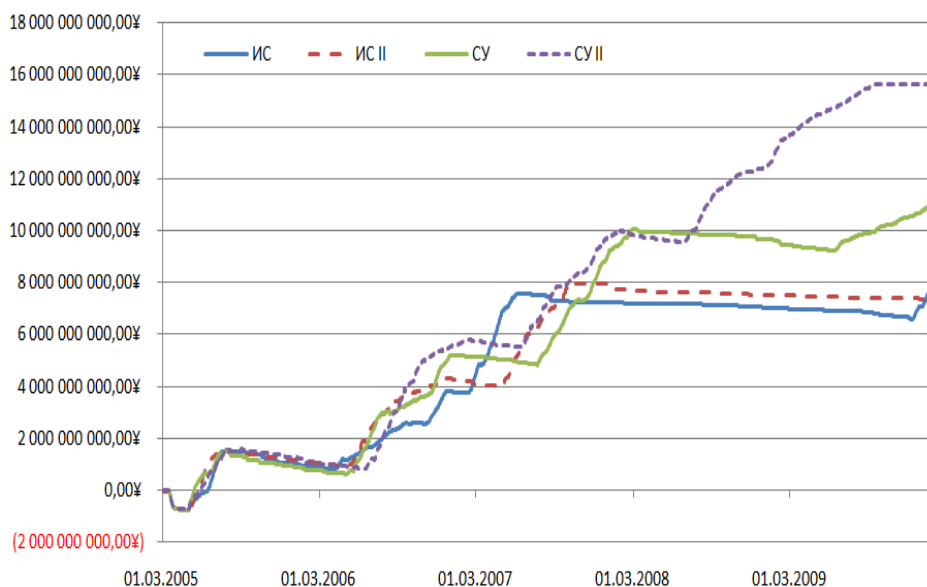


Рис. 4.9. Выручка проекта

Интеграция метода PERT с мультиагентным имитационным моделированием

С целью оценки математического ожидания и дисперсии времени реализации всего проекта с учетом воздействия на строительные работы различных внешних и внутренних факторов был использован метод PERT [40, 100]. Метод PERT ориентирован на анализ проектов, для которых продолжительность всех или некоторых работ не удастся определить точно. Применение метода позволяет получить оценки [22]:

- 1) ожидаемого времени выполнения работы;
- 2) ожидаемого времени выполнения проекта;
- 3) значения вероятности, с которой проект может быть выполнен за указанное время.

Для определения указанных выше числовых характеристик этапа работ (работы j) были определены путем проведения имитационных экспериментов с двумя моделями субподряда [6] три временные оценки:

t_o – оптимистическая оценка продолжительности работы j , рассчитывается для случая, когда условия проведения работы наиболее благоприятные [40, 22]. В контексте модели строительства данную оценку получаем с помощью имитационной модели "Субподряд 2" (в модели "Субподряд 2" на каждом последующем такте происходит пересмотр возможности отказа от привлечения субподряда [6]), в условиях средней загрузки строительного холдинга;

t_n – пессимистическая оценка длительности работы j , определяется для случая, когда процесс развивается по наиболее неудачной схеме [22, 40]. Данную оценку получаем с помощью имитационной модели "Субподряд (СУ)" (в модели "Субподряд" чужие средства привлекаются в случае нехватки своих средств на выполнение всей операции от ее начала и до ее окончания [6]), в условиях, соответствующих ситуации максимальной загрузки строительного холдинга;

$t_{нв}$ – наиболее вероятная продолжительность работы j , которая учитывает нормальный ход событий [22, 40]. Данную оценку получаем с помощью имитационной модели "Субподряд" [6], в условиях средней загрузки строительного холдинга.

Распределение фактической длительности выполнения работы описывается β -распределением [100]. Согласно [40] для подмножества критических работ S вычисляются доверительные границы длительности проекта по следующей формуле [40]:

$$T_{C,S} = \sum_{j \in S} (t_e)_j \pm K \sqrt{\sum_{j \in S} (v_e)_j},$$

где t_e - математическое ожидание для β -распределения $t_e = (t_o + 4t_{нв} + t_n)/6$; K - константа, зависящая от степени достоверности ($K = 3$ для степени достоверности 99,7%, $K = 2$ для степени достоверности 95%); v_e - дисперсия для β -распределения $v_e = [(t_n - t_o)/6]^2$.

Задача планирования экспериментов для оценки возможности строительства дополнительного объекта

Условия работы и ресурсный потенциал рассматриваемой компании накладывают ограничение на количество одновременно возводимых зданий – параллельно реализуются, как правило, 4 объекта. Задача заключается в моделировании, анализе полученных результатов и выводе о возможности и целесообразности для принятия решения о начале строительства пятого объекта. Для ее решения необходимо учитывать возможные стадии реализации уже осуществляемых проектов, их масштаб и замещение завершаемых объектов, вновь поступающими.

С учетом специфики проектов, существенными для анализа являются 3 стадии строительства: подготовка территории и закладывание фундамента, возведение стен и строительство крыши, отделочные работы. Компания специализируется на строительстве двух видов зданий – бизнес-центры и жилые здания. Рассмотрим возможные ситуации на момент

возникновения необходимости принятия решения о возведении нового пятого объекта.

Для определения общего количества возможных ситуаций воспользуемся формулами комбинаторики. Всего 4 объекта, каждый из которых может реализовываться на одной из трех выделенных стадий, обозначим их 1, 2, 3 (примем обозначения *n* – начальная стадия, *c* – средняя стадия, *k* – конечная стадия). Следовательно, элементами пространства элементарных исходов данного опыта являются комбинации 1 1 1 1 (реализация всех объектов осуществляется на первой стадии), 1 1 1 2 (три объекта реализуются на первой стадии, один на второй), и т. д. Причем, исходы 1 1 1 2, 1 1 2 1, 1 2 1 1, 2 1 1 1 идентичны, т. к. описывают одну и ту же ситуацию – три объекта реализуются на первой стадии, один на второй, т. е. порядок в наборах не важен. Это означает, что производится выбор из трех элементов (стадий) четыре раза (для описания 4-х объектов) без упорядочения с повторениями (в исходе 1 1 1 2 первая стадия «повторяется» 3 раза). Для подсчета общего количества исходов воспользуемся формулой сочетаний с повторениями:

$$\overline{C}_3^4 = C_{3+4-1}^4 = C_6^4 = \frac{6!}{4!2!} = 15$$

Эти исходы перечислены ниже.

1 1 1 1

Все объекты находятся на первой стадии строительства

1 1 1 2

1 1 1 3

1 1 2 2

1 1 2 3

1 1 3 3

1 2 2 2

1 2 2 3

1 2 3 3

1 3 3 3

2 2 2 2

2 2 2 3

2 2 3 3

2 3 3 3

3 3 3 3

Все объекты находятся на последней стадии строительства

При данном подходе рассматриваются только стадии объектов. Введем еще один параметр, отражающий реальные условия деятельности анализируемой компании – тип объектов строительства. Для этого расширим множество, описывающее стадии строительства отдельных объектов путем указания типа здания (бизнес-центр или жилое здание):

1б, 2б, 3б – здание бизнес-центра, находящееся соответственно на первой, второй или третьей стадии строительства;

1ж, 2ж, 3ж – здание жилое, находящееся соответственно на первой, второй или третьей стадии строительства.

Строительство бизнес-центра требует больше времени и ресурсов по сравнению с жилым зданием. Исходом в данном опыте будет, например, комбинация 1б 2б 3ж 3ж – один из бизнес-центров находится на первой стадии строительства, другой бизнес-центр – на второй стадии, два объекта жилых зданий – на третьей. В данном случае общее количество исходов будет равно

$$\overline{C}_6^4 = C_{6+4-1}^4 = C_9^4 = \frac{9!}{4!5!} = 126$$

Проведения полученного количества экспериментов требует больших временных и ресурсных затрат. С целью выявления наиболее реалистичных ситуаций был проведен дополнительный анализ деятельности холдинга, показавший, что из всего количества одновременно возводимых объектов не более двух бизнес-центров, т. е. исходы вида 1б 1б 1б 1б, 2ж 1б 1б 1б и т. д. невозможны. В этом случае для подсчета общего количества исходов выделим следующие подмножества:

1. все 4 здания жилые. Так как в этом случае исходы отличаются только стадиями объектов, то для данного пункта общее количество исходов было рассмотрено выше $\overline{C}_3^4 = 15$;
2. среди объектов 1 бизнес-центр и 3 жилые здания. Так, для одной и той же ситуации в части трех жилых зданий, возможны

три комбинации с учетом стадий 4 объекта бизнес-центр. Например, 1ж 1ж 1ж (3 жилые здания находятся на первой стадии строительства) результирующими комбинациями будут являться: 1с 1с 1с 1в, 1с 1с 1с 2в, 1с 1с 1с 3в. Всех возможных комбинаций для трех зданий средней этажности:

$$\overline{C}_3^3 = C_{3+3-1}^3 = C_5^3 = 10$$

Каждая часть расширяется 3 вариантами (стадиями) для четвертого объекта высокой этажности. В результате получаем количество исходов, равное $10 \cdot 3 = 30$.

3. среди объектов 2 бизнес-центра и 2 жилых здания. В этом случае для двух пар объектов средней и высокой этажности возможны различные комбинации по стадиям. Таким образом,

$$\text{и количество равно } \overline{C}_3^2 \cdot \overline{C}_3^2 = (C_4^2)^2 = \left(\frac{4!}{2!2!} \right)^2 = 36.$$

Следовательно, общее количество комбинаций с учетом не более 2 возводимых объектов высокой этажности равно $15 + 30 + 36 = 81$.

Следующий аспект деятельности компании, который влияет на сроки и окупаемость портфеля проекта, это – привлечение услуг сторонних компаний и индивидуальных предпринимателей для выполнения части работ. На основе проведенного анализа были выделены две модели субподряда [6]. Тогда, в условиях применения каждой из моделей субподряда возможен 81 вариант для этапов и масштабности возводимых объектов, следовательно, их общее количество увеличивается в 2 раза: $81 \cdot 2 = 162$. Новый пятый объект также может быть двух видов – высокой или средней этажности, и реализовываться в условиях одной из двух моделей субподряда. Таким образом, общее количество возможных ситуаций $162 \cdot 2 = 324$.

Для полноты эксперимента нужно учесть, что завершающиеся объекты переходят в новые. В противном случае получается ситуация, когда все ресурсы используются для уменьшающегося количества

объектов, что не соответствует реальной ситуации – помимо нового объекта параллельно должны возводиться 4 здания.

С помощью мультиагентной имитационной модели строительного холдинга и комплексов программ BPsim была проведена оценка математического ожидания (1503 дня) и дисперсии (96 дней) на основе ситуации холдинга «Wan Bao» и исходных данных 2006 года, в условии появления нового (пятого) объекта строительства.

Применение агента РБП и системы BPsim в управлении строительным холдингом обеспечивает автоматизированное решение ЛПР следующих задач анализа и синтеза сложных организационно-технических систем: формирование бизнес-плана работ с помощью разработанного в BPsim.MSS ИА бизнес-планирования; планирование проектных и строительных работ на основании оценки динамических характеристик процессов при проведении экспериментов с разработанной имитационной моделью в BPsim.MAS, включая оценку объема субподрядных работ. Интеграция технологий диалоговых экспертных систем и имитационного мультиагентного моделирования обеспечивает непрерывную комплексную поддержку принятия решений в сфере управления строительным холдингом. Применение метода привело к уменьшению сроков выполнения строительства на 5.94% (или 81 день) и повышению загрузки средств (техники) по сравнению с вариантом закупки грузовиков, а также повышению выручки на 42,4 %. Эффект от внедрения состоит в увеличении выручки на 4,6 млрд. юаней.

4.6. Применение операционного анализа вероятностных сетей и имитационного моделирования к задаче анализа загрузки грузовиков

Общий подход: Для иллюстрации принципа анализа узких мест, на примере загрузки грузовиков была разработана имитационная модель многоканальной СМО:

1. Был произведен сбор и анализ исходных данных имитационной модели. На основе данных хронометража и привязки к технологическим особенностям строительства было проведено разбиение всех работ на 4 группы.
2. На основе собранных данных построили гистограмму распределения длительности выполнения работ и приняли решение о возможности применения экспоненциального закона распределения длительности интервалов между поступлениями заявок. В результате калибровки ИМ были получены параметры (интенсивности) законов распределения для каждой группы работ. Длительность обслуживания работ имеет экспоненциальный закон распределения.
3. Были проведены имитационные эксперименты с моделью, реализованной в системе ИМ AnyLogic, направленные на моделирование следующих ситуаций:
 - a. Средний объем строительных работ (в данной ситуации можно определить необходимое количество собственных грузовиков, с целью повышения их загрузки).
 - b. Интенсивное строительство 4-х зданий с активным привлечением грузовиков (этой ситуации соответствует максимальное привлечение субподряда, когда на всех объектах строительства участвовало более сотни грузовиков).

4. Для каждой из рассмотренных ситуаций на основе результатов имитационных экспериментов на основе формулы (2.29) было определено среднее количество работающих грузовиков.

С целью анализа узких мест представим в виде многоканальной сети массового обслуживания модель строительства (рис. 4.10):

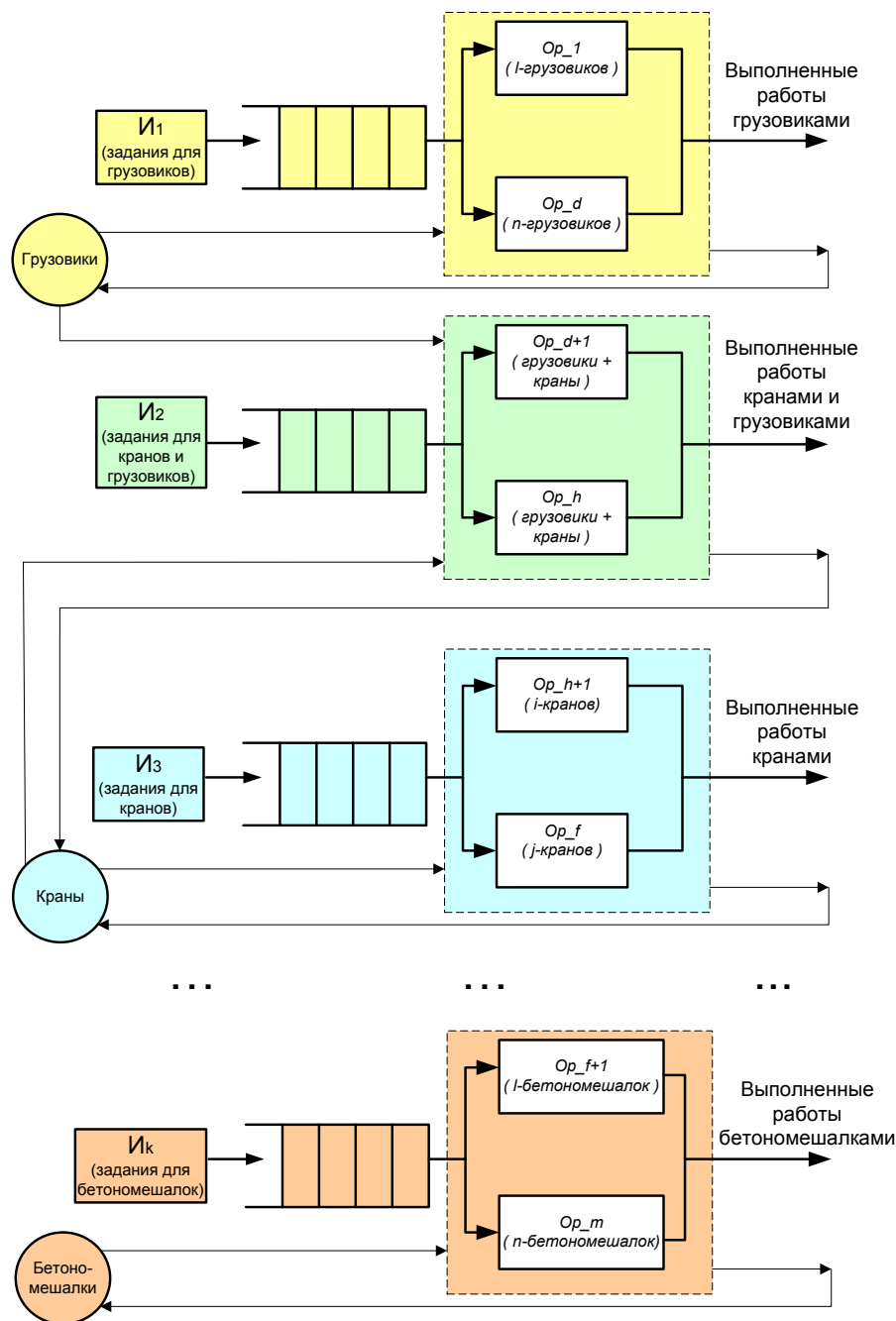


Рис. 4.10. Представление модели строительства в виде многоканальной СМО

1. Поток требований подается на каналы обслуживания, которые моделируют работу различных технических средств (грузовиков,

кранов, бетономешалок, и т.д.). Ключевыми устройствами (приборами обслуживания) являются грузовики.

2. Требования (заявки) содержат информацию об объеме работ и необходимом количестве техники (приборов обслуживания, необходимых для выполнения работ).

При исследовании системы важнейшим является вопрос генерации входных потоков, т.е. определение типа потока событий, который требуется воспроизвести, и реализация «генераторов» источников. Случайный поток представляет собой в общем случае просто последовательность случайных событий, происходящих одно за другим в некоторые случайные моменты времени. Потоки событий различаются между собой по их внутренней структуре: по законам распределения интервалов τ_1, τ_2, \dots между событиями. Для описания распределения интервалов между событиями могут использоваться различные законы распределения: нормальный, равномерный, экспоненциальный (наиболее часто используемый) [66, 69].

Для простейшего потока событий вероятность того, что на участке времени длины τ наступит ровно k событий, имеет распределение Пуассона и определяется по формуле

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}, \quad f(\tau) = \lambda e^{-\lambda\tau}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Физический смысл интенсивности потока событий λ – это среднее число событий, приходящееся на единицу времени (число заявок в единицу времени), размерность – 1/время.

Распределение интервалов между заявками для простейшего потока будет экспоненциальным (показательным) с функцией распределения $P(\tau) = P_2(t \leq \tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}$ и плотностью $f(\tau) = \lambda e^{-\lambda\tau}$, где λ – интенсивность поступления заявок в СМО.

Математическое ожидание длины интервала времени между последовательными моментами поступления событий:

$$M[\tau] = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Дисперсия интервала времени между последовательными моментами поступления заявок

$$D[\tau] = \int_0^{\infty} \tau^2 f(\tau) d\tau - (E(\tau))^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

Следовательно, среднеквадратичное отклонение длины интервалов:

$$\sigma_{\tau} = (D[\tau])^{1/2} = E[\tau] = \frac{1}{\lambda}.$$

Особенностью исследуемой системы является то, что частота поступления заданий для грузовиков различна на разных этапах строительства зданий. Значительное увеличение количества поступивших заданий для грузовиков отмечается, в основном, на начальных этапах строительства объекта. На данных этапах грузовиков не хватает, образуется очередь. В остальное время парк грузовиков простаивает.

Исходными данными для данной имитационной модели СМО, были взяты данные хронометража работ и результаты имитационных экспериментов с мультиагентной моделью. На рис. 4.11-4.13 показано распределение длительностей всех работ с учетом времени ожидания в очередях, как следует из данного графика, длительность работ уменьшается с применением модели субподряда 2.

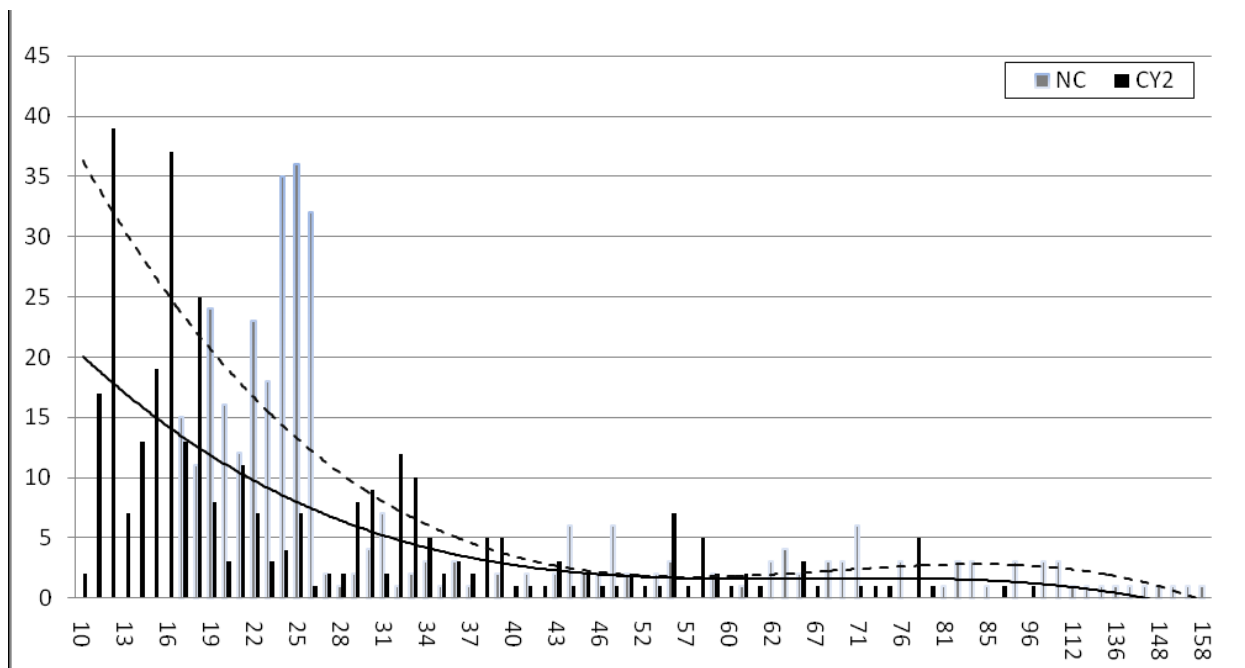


Рис. 4.11. Распределение длительностей работ (исходная модель и модель «CY2»)

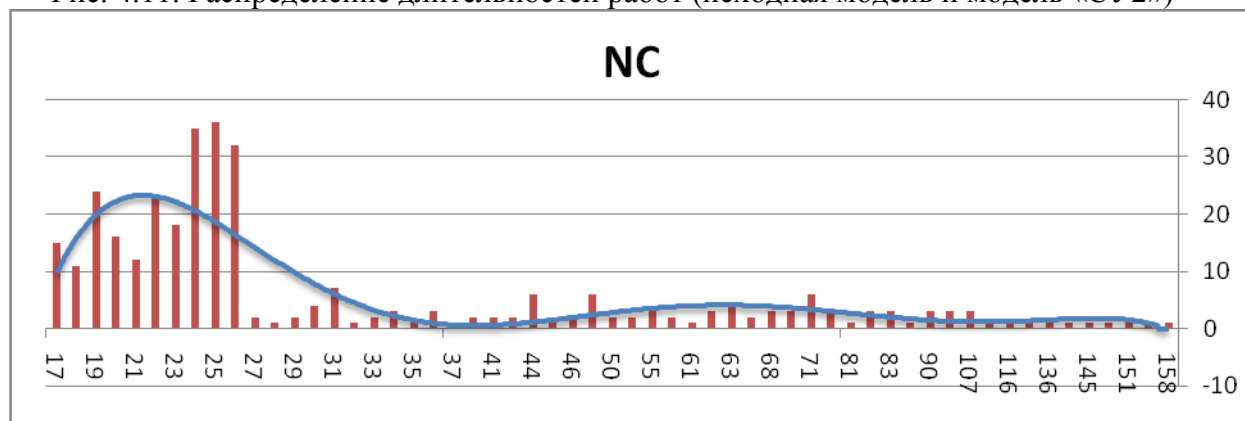


Рис. 4.12. Распределение длительностей работ (исходная модель)

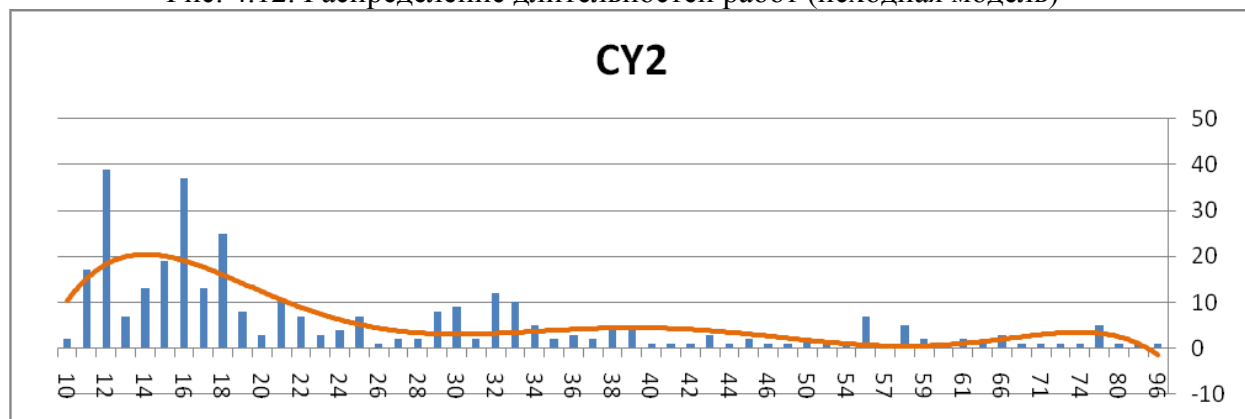


Рис. 4.13. Распределение длительностей работ (модель субподряд 2)

Представление модели строительства в виде СМО и ее программная реализация позволит определить узкие места на основе расчета U_k – коэффициента использования узла (см. формулу 2.12) и

получить полезную информацию о среднем времени пребывания требования в системе.

Данная модель не позволяет применять аналитические результаты теории СМО в виду следующих ограничений:

- несколько источников разнородных требований;
- количество обслуживающих устройств, необходимых для обслуживания разных требований варьируется;
- в модели присутствуют обслуживающие устройства различных типов.

Входные данные модели были получены в результате ручной обработки экспериментального распределения длительности работ (см. рис. 4.11-4.13). Полученные данные приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Входные данные модели

Заявка	Округленная периодичность возникновения $In_{l..4}$, дни	Количество заявок $K_{l..4}$, шт.	Средняя длительность обработки заявки $D_{l..4}$, дни	Количество используемой техники для обработки одной заявки, шт.		
				Грузовики K_{Truck}	Краны K_{Crane}	Бетономешалки K_{Mixer}
z1	23	63	12	от 6 до 8	0,25	0,2
z2	22	65	16	от 18 до 22	0,5	0,2
z3	32	46	18	от 12 до 14	0,25	—
z4	70	21	25	от 16 до 18	0,25	0,4

Если в результате проведенных процедур модель окажется недостаточно достоверной, может быть выполнена калибровка имитационной модели (в моделирующий алгоритм встраиваются калибровочные коэффициенты) с целью обеспечения адекватности модели, или в более сложных случаях возможны многочисленные итерации на ранние этапы с целью получения дополнительной информации о моделируемом объекте или доработки имитационной модели [51].

В результате калибровки имитационной модели были получены интенсивности поступления для каждой группы заданий. Полученные результаты приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6.

Заявка	Функция плотности распределения СВ Y
z1	$f(y) = \lambda e^{-\lambda y}, \lambda = 0.04$
z2	$f(y) = \lambda e^{-\lambda y}, \lambda = 0.043$
z3	$f(y) = \lambda e^{-\lambda y}, \lambda = 0.03$
z4	$f(y) = \lambda e^{-\lambda y}, \lambda = 0.015$

Модель в AnyLogic

Для построения модели системы в системе имитационного моделирования AnyLogic использовались стандартные блоки Enterprise Library (библиотека дискретно-событийного моделирования) [41]. В модели генерируются четыре потока заявок (заданий для грузовиков) с разными интенсивностями. Ресурсы (грузовики) имитируются многоканальным устройством с заданной емкостью. Задания требуют определенного количества ресурсов и занимают ресурсы на определенное время. Время моделирования – 4 года. Единица модельного времени – 1 день. На выходе оценивается загрузка многоканального устройства и среднее время пребывания заявки в системе. Добавлен дополнительный канал обслуживания, имитирующий использование субподряда. Запасной канал подключается к обработке только при выполнении условия: длина очереди к основным каналам не превышает заданного значения.

Кроме этого добавлены элементы управления – слайдеры для динамического изменения интенсивностей источников заявок в ходе эксперимента. В исходной модели интервалы времени между поступлениями заявок распределены экспоненциально со средними значениями 24, 23, 31, 69 единиц модельного времени соответственно для каждого источника. В качестве аргумента функции *exponential()* задается интенсивность прихода заявок, поэтому аргументы функций для каждого источника соответственно равны 0.04, 0.043, 0.03, 0.015. Функция *exponential()* является стандартной функцией генератора случайных чисел AnyLogic.

Результат прогона модели показан на рис. 4.14. Как видно из графиков очередей дополнительный канал (субподряд) не подключается при условии превышения длины очереди к ресурсам более 10.

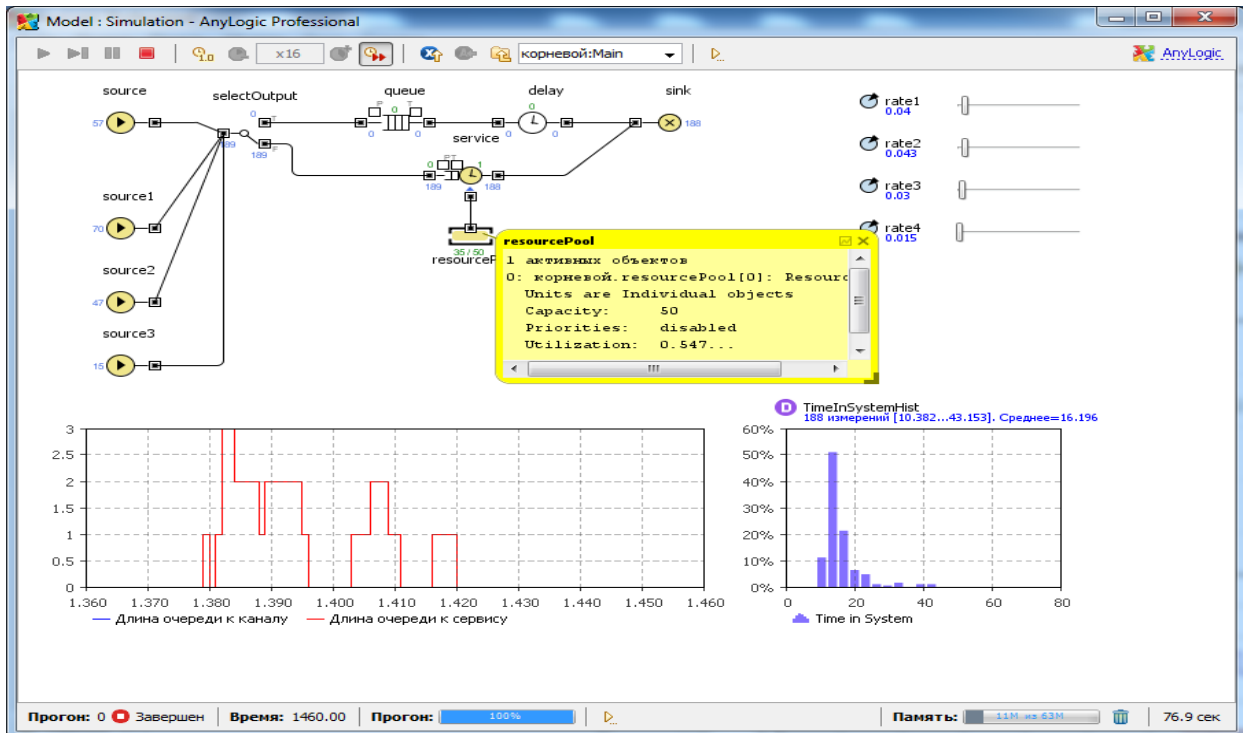


Рис. 4.14. Результаты прогона модели в AnyLogic

Изменяя интенсивность поступления заявок, можно убедиться, что основные каналы не справляются с нагрузкой, и подключается запасной канал (рис. 4.15). При этом загрузка основных каналов остается достаточно высокой, т.е. каналы не простаивают. Среднее время выполнения заявки составляет 46 дней.

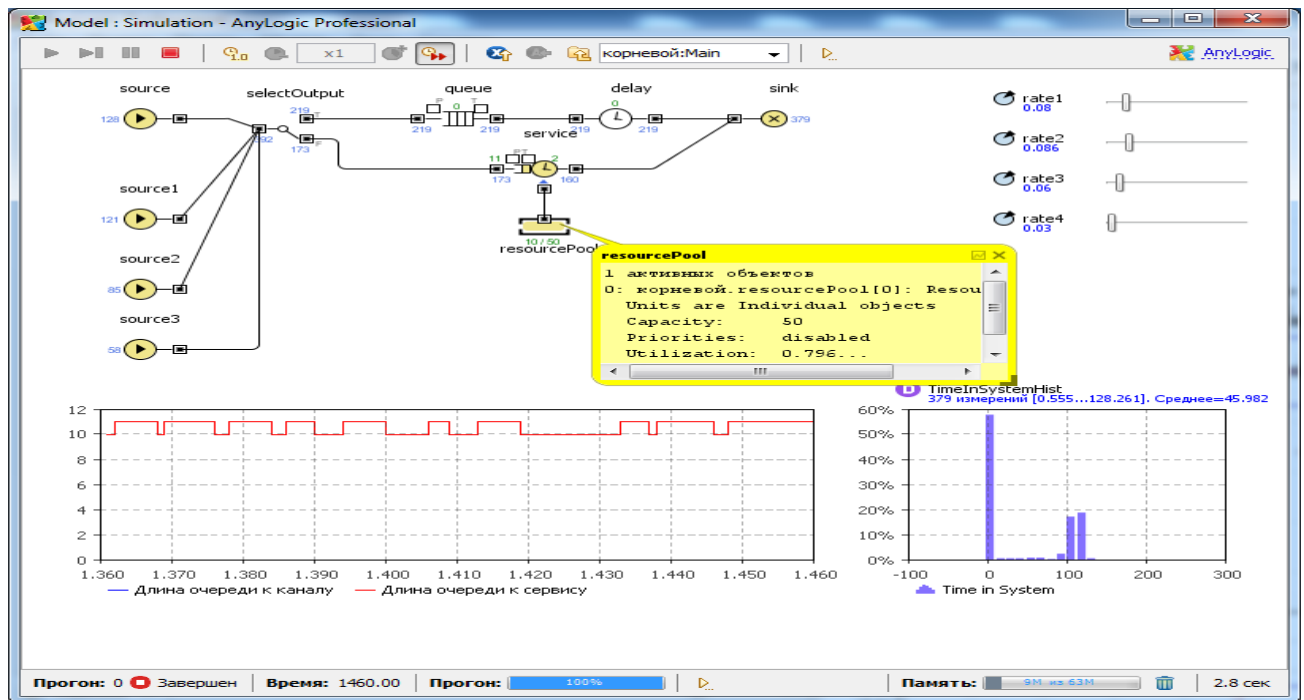


Рис. 4.15. Результаты эксперимента в AnyLogic

С другой стороны при увеличении пула ресурсов среднее время нахождения заявки в системе уменьшается до 21,196 дня (рис. 4.16). Запасной канал не подключается. Загрузка каналов достаточно высокая.

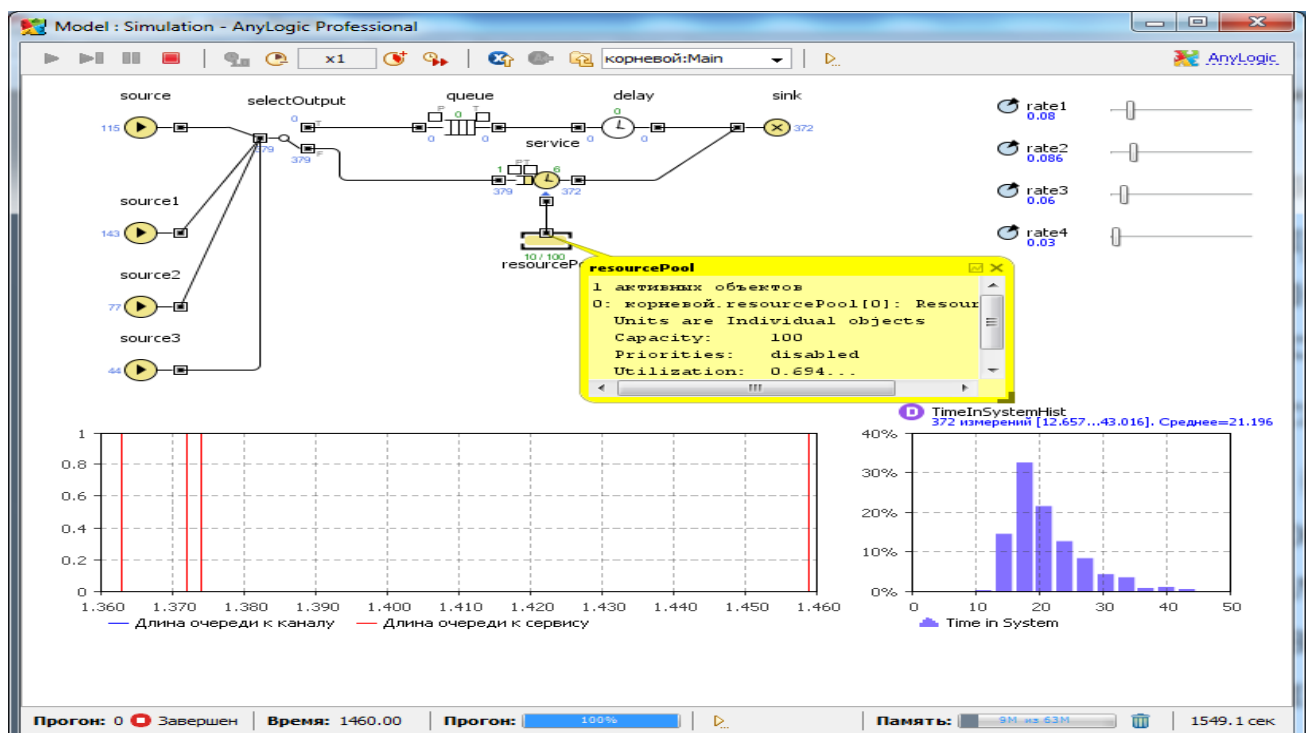


Рис. 4.16. Результаты эксперимента в AnyLogic

Таким образом, на основе полученных результатов можно оценить среднее количество занятых каналов или среднее количество работающих каналов для системы с отказами (т.е. с ограничением длины очереди 10 заявок). Согласно методике расчета среднее количество занятых каналов можно получить по формуле: $M = (Z + R)X_0$. Результаты показаны в табл. 4.7. Расчет производился с учетом следующих особенностей: во-первых, «общей» интенсивности $\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ (т.к. рассматриваем простейшие потоки); во-вторых, учитываем, что для выполнения задания (обработки заявки) требуется определенное количество ресурсов (средств). В нашем случае предполагаем захват заявкой 15 каналов (ресурсов) в среднем. **Таким образом, в формулу (2.23) ввели дополнительный коэффициент, учитывающий среднее количество ресурсов(средств) захватываемых требованием:**

$$M = k(Z + R)X_0,$$

где k – среднее количество каналов, захватываемых требованием; Z – время обслуживания требования; R – время ожидания; X_0 – интенсивность входящего потока требований.

Таблица 4.7.

Ситуация	Интенсивность поступления заявок	Среднее время нахождения заявки в системе в целом	Количество каналов, которое захватывает одна заявка	Среднее количество работающих каналов	Время эксперимента, сек
С1 (средний объем работ)	0,128	16	15	30,72	1439
С2 (загрузка выше среднего)	0,200	18	15	54,00	1498
С3 (большая загрузка)	0,256	21	15	80,64	1549
С4 (максимальная загрузка)	0,320	23	15	110,4	1618

Результаты имитационных экспериментов модели строительства в виде СМО (реализованной в СИМ AnyLogic) и в виде МППР (реализованной в системе BPsim.MAS) хорошо согласуются, так среднее

время нахождения заявки (для грузовиков) в мультиагентной модели «субподряд2» составляет 17,29 , а свой парк состоит из 30 грузовиков. Максимальное количество используемых грузовиков в модели «субподряд2» составляет 106, что также хорошо согласуется с результатами модели СМО (ситуации большой и максимальной загрузки). Таким образом, можно сделать об адекватности модели СМО, в части моделирования загрузки грузовиков.

Данная модель СМО, несмотря на свою компактность и ресурсоемкость, имеет следующие недостатки по сравнению с моделью МППР:

- 1) не позволяет задать технологическую последовательность требований-работ по строительству здания;*
- 2) не позволяет оценить длительность строительства отдельных объектов;*
- 3) не имеет возможности оценки экономических характеристик проекта строительства.*

Подводя итог, можно отметить, что применение технологий дискретно-событийного моделирования и мультиагентного моделирования в совокупности с операционным анализом вероятностных сетей позволило определить узкие места системы и убедиться в правильности принятых решений. Комплексное использование моделей МППР, СМО и операционного анализа позволяет сократить количество экспериментов с моделью МППР, направленных на определение среднего количества грузовиков.

4.7. Выводы

1. На основе результатов проведенных экспериментов и результатов внедрения теоретические результаты прошли проверку в условиях действующих предприятий (CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING WANGXIANG.LTD)).
2. Программный комплекс реинжиниринга BPsim работоспособен и обеспечивает возможность:
 - проектирования концептуальной модели предметной области;
 - анализа узких мест и свертки/развертки мультиагентной модели (реинжиниринга модели бизнес-процесса);
 - имитационное моделирование;
 - формирования отчетов по результатам экспериментов;
 - экспорта результатов экспериментов в средства анализа данных;
 - поддержкой русифицированного интерфейса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в рамках данной работы получены следующие результаты:

1. Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных проблемно-ориентированных систем моделирования бизнес-процессов: BPwin и Arena, AnyLogic, ARIS, GPSS, Pilgrim, BPsim. Ни одна из рассмотренных систем не обладает встроенными средствами автоматизированного реинжиниринга (свертки/развертки) модели. Наибольшие возможности для программной реализации процедур свертки/развертки модели МППР дает семейство СППР BPsim за счет поддержки технологии реализации программных помощников.
2. Разработаны требования к математической модели и методу поддержки принятия решений, которые должны обеспечивать следующие функции: динамическое моделирование процессов преобразования ресурсов; наличие сообществ интеллектуальных агентов, участвующих в управлении процессом преобразования ресурсов; применение ситуационного подхода (наличия в модели агента механизмов диагностирования ситуаций и поиска решений); наличие средств реинжиниринга модели МППР; результаты анализа модели (включая анализ результатов имитационных экспериментов), а также решения о реинжиниринге (применении тех или иных процедур свертки/развертки модели МППР должны быть понятны пользователю-ЛПР. Таким образом, метод должен иметь подсистему объяснения и базу знаний диагностики ситуаций «узких мест» процесса.
3. Для решения задач анализа модели «Как есть» и построения моделей «Как будет» предложено использование динамической модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов, и проведение имитационных экспериментов с целью проверки гипотез по синтезу

модели (реинжинирингу). Проведена классификация агентов мультиагентного процесса преобразования (МППР).

4. Решены задачи представления модели МППР в виде системы массового обслуживания и графа. На основе анализа модели МППР, проведен анализ динамических характеристик процесса и применимости алгоритмов свертки/развертки модели. Для решения задачи поиска «узких мест» предложено использование аппарат экспертных систем, а в совокупности с задачей динамического моделирования бизнес-процессов/ОТС предложено использовать мультиагентное имитационное моделирование и ситуационное управление.
5. Для описания модели предметной области используется фреймово-семантическое представление знаний (фреймовый подход Швецова А.Н. для построения КМПО). Определены основные классы КМПО задачи реинжиниринга МППР. Разработаны правила поиска «узких мест» и реинжиниринга (структурного и параметрического синтеза) мультиагентного процесса преобразования ресурсов, построенные на основе диаграмм последовательностей языка UML для визуализации вывода на сети фрейм-концептов и концептуальных графов.
6. Разработан метод принятия решений задачи реинжиниринга БП / ОТС, на основе динамической мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов и интеллектуального агента поиска «узких мест» и реинжиниринга.
7. Проведено сравнение разработанного метода принятия решений задачи реинжиниринга с существующими: методологией моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макропредприятий Александрова Д.В.; 2) методикой реинжиниринга бизнес-процессов на основе интеграции методов структурного анализа, экспертных систем и формальных грамматик

Коннова Е.П.; 3) методом критического пути. Результаты сравнения показали преимущества нового метода.

8. На основе метода были разработаны:

- интеллектуальный агент (визард) реинжиниринга бизнес-процесса;
- интерфейсы интеллектуальной СППР задачи реинжиниринга, ориентированные на конечного пользователя;
- программное, информационное, алгоритмическое обеспечение программного комплекса поддержки задачи реинжиниринга.

9. Разработанная информационная технология реинжиниринга, построенная на основе продуктов семейства BPsim, обладает полным перечнем функциональных возможностей, предъявляемых к проблемно-ориентированной СППР реинжиниринга, и отличается:

- полным набором функциональных возможностей мультиагентной СППР реинжиниринга;
- наличием средств визуального проектирования КМПО;
- поддержкой функции анализа «узких мест»;
- возможностью анализа альтернативных решений синтеза процесса в режиме диалога;
- поддержкой русского языка;
- стоимостью на порядок ниже зарубежных аналогов.

10. Разработанная информационная технология была апробирована в CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING WANGXIANG.LTD). Применение метода в холдинге WANBAO привело к уменьшению сроков выполнения строительства на 5,94% (или 81 день) и повышению загрузки средств (техники) по сравнению с вариантом закупки грузовиков, а также повышению выручки на 42,4 %. Эффект от внедрения состоит в увеличении выручки на 4,6 млрд. юаней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов К.А., Аксенова О.П., Ван Кай. Задачи свертки и развертки мультиагентной модели // Теория графов и приложения. Екатеринбург: УрФУ. 2012. С. 4-16.
2. Аксенов К.А., Аксенова О.П., Ван Кай. Планирование портфеля проектов в строительстве на основе мультиагентного имитационного моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 6 (162) 2012. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург – С.171-174.
3. Аксёнов К.А., Антонова А.С. Применение имитационного моделирования и технологии интеллектуальных агентов для решения задачи управления проектами // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4 (128) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.27-36.
4. Аксенов К.А., Антонова А.С., Спицина И.А. Анализ и синтез процессов преобразования ресурсов на основе имитационного моделирования и интеллектуальных агентов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (115) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.13-20.
5. Аксенов К.А., Ван Кай, Аксенова О.П. Разработка и применение метода анализа узких мест на основе мультиагентного имитационного моделирования // Материалы шестой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2013): сборник докладов. Казань: Академия наук РТ, 2013. Т.2. С.19-23.
6. Аксенов К.А., Ван Кай, Антонова А.С., Аксенова О.П., Гончарова Н.В. Применение мультиагентной системы принятия решений в управлении строительным холдингом // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. № 5. 2012. г. Екатеринбург С.106-117.

7. Аксёнов К.А., Ван Кай, Антонова А.С., Аксёнова О.П., Липодаева А.А. Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительным холдингом // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4 (128) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.53-61.
8. Аксенов К.А., Ван Кай, Рыжкова Н.Г., Аксенова О.П. Использование мультиагентного имитационного моделирования и стохастического подхода для планирования сроков динамически формируемого портфеля проектов в строительстве // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8453> (дата обращения: 26.02.2013).
9. Аксенов К.А. Вопросы системного анализа и синтеза, моделирования, поддержки принятия решений мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Компьютерное моделирование 2007: труды VIII-й междунаро. научн.-техн. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С.23-32.
10. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
11. Аксенов К.А., Доросинский Л.Г., Романов В.А. Классификация процедур свертки и термины работоспособности имитационной модели процессов преобразования ресурсов // Информационно-математические технологии в экономике, технике и образовании: сборники тезисов областной научн.-практ.конф. – Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – С.4.
12. Аксенов К.А. Исследование и разработка средств имитационного моделирования дискретных процессов преобразования ресурсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / К.А. Аксенов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. 188 с.
13. Аксенов К.А., Клебанов Б.И. Имитационное моделирование процессов преобразования ресурсов: монография / К.А. Аксенов, Б.И. Клебанов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 198 с.

14. Аксенов К.А., Неволлина А.Л., Аксенова О.П., Смолий Е.Ф. Мультиагентное моделирование и планирование логистики // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: www.science-education.ru/110-9744 (дата обращения: 16.08.2013).
15. Аксенов К.А. Принципы построения системы имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов BPsim / К.А. Аксенов, Б.И. Клебанов // Материалы первой Всероссийской научн.-практ. конф. «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках»: сборник докладов. Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2003. Т.1. С.36-40.
16. Аксенов К.А. Проблемно-ориентированная система имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов: Информационные системы в технике и образовании: Серия радиотехническая / К.А. Аксенов, Б.И. Клебанов, Е.Ф. Смолий // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 19 (49). С.20-32.
17. Аксенов К.А. Системный анализ и синтез организационно-технических систем на основе модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Вестник науки Костанайского социально-технического университета №1 (Март). – Костанай. 2008. С.83-92.
18. Аксенов К.А. Теория и практика средств поддержки принятия решений: монография / К.А. Аксенов. Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 341 с.
19. Аксенов К.А., Шолина И.И., Сафрыгина Е.М. Разработка и применение объектно-ориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 3 (80) 2009. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.87-97.

- 20.Александров Д.В. Методология моделирования распределенных систем управления бизнес-процессами макрпредприятий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 [Текст] /Д.В. Александров.-Владимир: Владимир. гос. ун-т, 2009. –33 с.
- 21.Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы: учебник. / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. М.: Финансы и статистика, 2004. 424 с.
- 22.Афанасьев М.Ю., Багриновский К.А., Матюшок В.М. Прикладные задачи исследования операций. - М.: ИНФРА-М, 2006. - 352 с.
- 23.Борщев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика/ А.В. Борщев // Exponenta Pro. 2004. № 3-4.
- 24.Бутенко Д.В., Бутенко Л.Н. Теория развития систем. задачи концептуального проектирования и их взаимосвязь с закономерностями развития систем. Сетевой электронный научный журнал "Системотехника", № 2, 2004 г.
- 25.Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. –М.:Бином. 2001
- 26.Ван Кай, Аксенов К.А., Аксенова О.П., Киселёва М.В. Использование аппарата операционного анализа вероятностных сетей для определения среднего количества приборов обслуживания мультиагентной модели // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/103-6290> (дата обращения: 22.05.2012).
- 27.Википедия – свободная энциклопедия: Ресурс [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ресурс#> (дата обращения: 07.10.12).
- 28.Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов – М. Изд-во МГУ, 2006. – 112 с.
- 29.Вязовик Н., Жилин Е. Программирование на Java. Центр Sun технологий МФТИ, ЦОС и ВТ МФТИ, 2003 г.

- 30.Годин В.В., Корнеев И.К. Управление информационными ресурсами: 17-модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации». Модуль 17. – М.: ИНФРА-М, 2000 –352с.
- 31.Горбунов А.Р. «Управление финансовыми потоками и новое поколение экспертных систем». www.tora-centre.ru/library/Reing/expart.htm
- 32.Городецкий В.И., Бухвалов О.Л. Управление нагрузкой грид на основе многоагентной самоорганизации. Ч.1. Мехатроника, Автоматизация, Управление. N 3, 2011, С. 40–46.
- 33.Городецкий В.И., Бухвалов О.Л. Управление нагрузкой грид на основе многоагентной самоорганизации. Ч.2. Мехатроника, Автоматизация, Управление. N 7, 2011, С. 20–25.
- 34.Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Инструментальные средства для открытых сетей агентов. Известия РАН. "Теория и Системы Управления", Москва: Наука, 2008, №. 3, 106-124.
35. Городецкий В.И. Открытые многоагентные системы и самоорганизация: Новые возможности // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2012, Белгород, 18 октября <http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2012/present/Gorodetsky.pdf>
- 36.Городецкий В.И., Серебряков С.В., Троцкий Д.В.. Средства спецификации и инструментальной поддержки командного поведения автономных агентов. Известия Южного федерального университета, #3, 2011, С.116–133.
- 37.Емельянов А.А. Симуляторы GPSS World и Actor Pilgrim: экономика и массовое обслуживание // Прикладная информатика №3 (9) 2007. С 73-103.
- 38.Зраенко А.С., Аксенов К.А., Ван Кай Коалиционная модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 5 (86) 2009. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.156-161.

- 39.Имитационное моделирование производственных систем / под общ.ред. А.А. Вавилова. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1983. 416 с.
- 40.Исследование операций: том 2. под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.
- 41.Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.: ил.
- 42.Калянов Г.Н., CASE структурный системный анализ (автоматизация и применение). - М.:Лори.-1996.-242с.
- 43.Калянов Г., Козлинский А., Лебедев В. Сравнение и проблема выбора методов структурного системного анализа // PC Week/RE/-1996.-27 Авг. - с.46-50.
- 44.Керим Тумай «Имитационное моделирование бизнес-процессов. Как отображаются характеристики процессов при моделировании» http://interface.ru/fset.asp?Url=/consult/mod_biz_process.htm
- 45.Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.-432с.
- 46.Клыков Ю.И. Банки данных для принятия решений / Ю.И. Клыков, Л.Н. Горьков. М.: Сов. радио, 1980. 155 с.
- 47.Клыков Ю.И. Семиотические основы ситуационного управления / Ю.И. Клыков. М.: МИФИ, 1974. 220 с.
- 48.Коннова Е.П. Методика реинжиниринга бизнес-процессов на основе интеграции методов структурного анализа, экспертных систем и формальных грамматик: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17 [Текст]/Е.П. Коннова.-Москва: М. гос. ун-т печати, 2008. –18 с.
- 49.Кошкарева Н. В., Левшина В. В. Методические подходы к описанию процессов системы менеджмента качества вуза // Качество. Инновации. Образование. – 2004

50. Литвин В.Г., Аладышев В.П., Винниченко А.И. Анализ производительности мультипрограммных ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1984.-159с.
51. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. Учебное пособие – Москва, Государственный университет управления, 2005 (http://www.inf-man.ru/download/mmim/imitac_model.pdf)
52. Лычкина Н.Н. Современные тенденции в имитационном моделировании, <http://simulation.su/uploads/files/default/immod-2003-2-79-83.pdf>
53. Маклаков С. Имитационное моделирование с Arena. Компьютер пресс №7, 2001, 135-136с.
54. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.:Наука. 1981. –488 с.
55. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка: М. Азъ Ltd., 1992. – 960 с.
56. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: Реинжиниринг организаций и информационные технологии. М.: Финансы и статистика, 1997. – 336с.
57. Пищулов В. Введение в теорию производства: учеб. пособие / В. Пищулов, К. Рихтер, Е. Дятел. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2003. 161 с.
58. Пospelов Д.А. Мышление и автоматы / Д.А. Пospelов, В.Н. Пушкин. М.: Советское радио, 1972. 224 с.
59. Пospelов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Пospelов. М.: Наука, 1986. 288 с.
60. Романов В.А., Аксенов К.А., Доросинский Л.Г. Классификация процессов преобразования ресурсов: Спецвыпуск // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. С.100-105.
61. Рубцов С.В. Главы из монографии "Целевое управление корпорациями" 2001. http://or-rsv.net/Book/Book_1_2.htm

62. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы. - М.: Мир, 1984. - 454 с.
63. Свиткин М.З. Процессный подход при внедрении систем менеджмента качества в организации // Стандарты и качество. №3. 2002
64. Севастьянов П., Дымова Л., Дилигенский Н. "Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология"//монография. – М.:Машиностроение-1. 2004
65. Системная интеграция в управленческой деятельности: сборник статей / под ред. С.Л. Гольдштейна. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 309 с.
66. Сирота А. А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем / А. А. Сирота. Москва: Техносфера, 2006. 280 с.
67. Скобелев П.О. Мультиагентные технологии для управления ресурсами в реальном времени // Механика, управление и информатика — Таруса, 2011; URL: http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf (дата обращения: 02.06.2013)
68. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.3. № 1. 2001. С. 71-79.
69. Советов Б.Я. Моделирование систем: учеб. для вузов. 3-е изд. / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. М.:Выш.шк., 2001. 343 с.
70. Старцев М.А. Интегрированная информационная система для автоматизированного управления процессом капитального строительства на промышленном предприятии на основе иерархических ситуационных моделей сетевого планирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 [Текст]/М.А. Старцев.-Уфа: Уфим. гос. авиац. техн. ун-т, 1999. –16 с.

71. Тельнов Ю.В. Реинжиниринг бизнес-процессов (Учебное пособие). / Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права. М., 2003. 99 с.
72. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг предприятия на основе имитационной модели. <http://www.interface.ru/consult/reingiring.htm>
73. Тельнов Ю.Ф. Технология проведения реинжиниринга бизнес-процессов. – М: МЭСИ, РИТАП, материалы семинара «Бизнес-процесс реинжиниринг и проектирование информационных систем», 1996
74. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук [и др.]; под общ. ред. С.В. Емельянова. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. 520 с.
75. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
76. Тюрюшкин А.Н. Проблемы обеспечения качества информационных систем (Институт Систем Информатики им. А.П. Ершова СО РАН г.Новосибирск) - IV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Красноярск, Академгородок, 3-5 ноября 2003 г.
77. Филиппович А.Ю. Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования для управления рынком полиграфических услуг // Материалы 42-й науч.-техн. конф. преподавателей, сотрудников и аспирантов МГУП. – М.: Изд-во МГУП, 2002
78. Филиппович А.Ю. Интеграция ситуационного, имитационного и экспертного моделирования в полиграфии / А.Ю. Филиппович. М., 2003. 310 с.
79. Филиппович А.Ю., Коннова Е.П. Методика реинжиниринга бизнес-процессов на основе интеграции методов экспертных систем и формальных грамматик // Проблемы полиграфии и издательского дела. 2008. – М. Изд-во МГУП, 2008. – № 6. – С. 23-32.

http://www.philippovich.ru/Library/Articles/publications_Philippovich_Andrew/MethodicRBP.pdf

80. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. Пер. с англ. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1997. 322 с.
81. Черняк Л. Будущее компьютеров и обратная связь. Журнал «открытые системы» № 12. 2003
82. Черняк Л. Будущее компьютеров и обратная связь. Журнал «открытые системы» № 8. 2004
83. Швецов А.Н. Модели и методы построения корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений: дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.01 / А.Н. Швецов. Санкт-Петербург, 2004. 461 с.
84. Шеер А.В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. / А.В. Шеер. М.: ВестьМетатехнология, 1999. 182 с.
85. Шеер А.В. Моделирование бизнес-процессов. / А.В. Шеер. М.: Весть-Метатехнология, 2000. 205 с.
86. Юрий Шебеко «В ожидании BPR или имитационные модели фондовых потоков в практике проектирования бизнес-процессов». <http://www.tora-centre.ru/library/reing/bpr.htm>
87. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai Application of BPsim.DSS system for Decision Support in a Construction Corporation // Applied Mechanics and Materials Vols. 256-259 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.2886 . pp. 2886-2889.
88. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai, Popov A.V., Smoliy E.F., Sufrygina E.M., Spitsina I.A. and Sheklein A.A. Development of Decision Support and Simulation System BPsim.DSS: Integration of Simulation, expert Situational and Multi-Agent Modeling // Proceedings of ESM'2009 (ESM - European Simulation and Modelling Conference) October 26-28, 2009, Holiday Inn, Leicester, United Kingdom Pages 256-260.

89. Aksyonov K., Bykov E., Dorosinskiy L., Smoliy E. and Aksyonova O. (2011). Decision Support based on Multi-Agent Simulation Algorithms with Resource Conversion Processes Apparatus Application, Multi-Agent Systems - Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies, Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.), ISBN: 978-953-307-176-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-based-on-multi-agent-simulation-algorithms-with-resource-conversion-processes-appar> pp.301-326
90. Aksyonov K., Bykov E., Dorosinskiy L., Smoliy E., Aksyonova O., Antonova A. and Spitsina I. (2011). Decision Support Systems Application to Business Processes at Enterprises in Russia, Efficient Decision Support Systems - Practice and Challenges in Multidisciplinary Domains, Chiang Jao (Ed.), ISBN: 978-953-307-441-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-systems-application-to-business-processes-at-enterprises-in-russia> pp.83-108.
91. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai. Efficient decision support for control and management processes of industrial enterprises with BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2011), 23-25 May 2011, Mianyang, China, Pages 261-265.
92. Aksyonov K., Bykov E., Smoliy E., Sufrygina E., Aksyonova O. and Wang Kai Development and Application of Decision Support System BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2010 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2010), 26-28 May 2010, Xuzhou, China, Pages 1207-1212.
93. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Sufrygina E.M., Sheklein A.A., Aksyonova O.P., Wang Kai, "Efficient Decision Support with Simulation-Based System BPsim.DSS: Advanced Simulation Techniques," ISMS, 2011 Second International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, 2011. Phnom Penh, Cambodia, January 25-27. pp.30-34.

94. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Wang Kai, Aksyonova O.P. Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012) December 9-12, Berlin, Germany.
95. Aksyonov K., Bykov E., Wang Kai, Smoliy E. and Aksyonova O. Multi-Agent Processes Simulation with BPsim.MAS — An Easy Way to Success // Proceedings of the IEEE 2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), 17-19 June 2009, Guilin, China, Pages 5661-5666.
96. Aksyonov K. Computer-aided design system of simulation business process model / K.A. Aksyonov, B.I. Klebanov, A.A. Hrenov // Proceedings of the 4th IMACS Symposium on Mathematical Modeling, ARGESIM Report no. 24. Austria, Vienna University of Technology. 2003. P.1414-1420.
97. Aksyonov K., Spitsina I., Bykov E., Wang Kai and Smoliy E. Multiple Approaches Integration for Computer-Supported Software Development // Proceedings of the IEEE 2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), 17-19 June 2009, Guilin, China, Pages 4939-4943.
98. Arena улучшает возможности для бизнеса в условиях новой экономики <http://www.interface.ru/sysmod/sysmodh.htm>
99. Bykov E.A., Aksyonov K.A., Smoliy E.F., Sufrygina E.M., Aksyonova O.P., Popov A.V., Wang Kai, Skvortsov A.A. BPsim.DSS – Intelligent Decision Support System based on Multi-agent Resource Conversion Processes: Development and Application Experience // Proceedings of the Second International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM.2010), Bali, 28-30 September 2010, Pages 137-142.
100. Clark C.E. The PERT Model for Distribution of an Activity Time // Operations Res., № 10, 1962. pages 405-406.
101. Gorodetsky V., Cao L. and Mitkas P.. Agent Mining: The Synergy of Agent and Data Mining. International Journal "IEEE Intelligent Systems", May/June 2009, 64–72.

102. Gorodetskiy V., Karsaev O., Samoilov V., Skormin V.. Multi-Agent Technology for Air Traffic Control and Incident Management in Airport Airspace. Proceedings of the International Workshop "Agents in Traffic and Transportation", Estoril, Portugal, IEEE Computer Press, pp.119-125, 2008.
103. Fraser, J. Managing Change Through Enterprise Models. Applications and Innovations in Expert Systems II, Cambridge, SGES Publications, 1994.
104. Huckvale, T. and M. Ould Process Modelling - Who, What, How: Role Activity Diagramming. Business Process Change: Reengineering Concepts, Methods, and Technologies. V. Grover and W. J. Kettinger. Harrisburg, PA, Idea Publishing Group, 1995, P.330-349.
105. INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993, December 2
106. Jennings N.R. On agent-based software engineering // Artificial Intelligence. — 2000, vol. 117, — P. 277-296. URL: <http://www.agentfactory.com/~rem/day4/Papers/AOSE-Jennings.pdf> (дата обращения: 02.06.2013)
107. Rzevski G., Himoff J., Skobelev P. MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers \ International conference on multi-agent systems \ Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB, Germany, February 2006. URL: <http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf> (дата обращения: 02.06.2013).
108. Sowa J. F. Conceptual graphs for a database interface / J. F. Sowa // IBM Journal of Research and Development - 1976. - № 20:4. - P. 336-357.
109. Sowa J. F. Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine / J. F. Sowa. - Reading, MA : Addison - Wesley, 1984. - 481 p.
110. Sowa J. F. Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations / J. F. Sowa. - Pacific Grove, CA : Brooks/ Cole Publishing Co., 2000. - 594 p.

111. UML – The Unified Modeling Language. Режим доступа: www.uml.org
112. Vittikh V. A., Skobelev P. O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. Automation and Remote Control. Vol. 64, 2003, pp. 162-169. <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1021836811441> (accessed 02 June 2013).
113. Wooldridge M. Agent-based software engineering // IEEE Proc. Software Engineering. —1997, №144 (1) — P. 26–37.

Научное издание

**Константин Александрович Аксенов
Ван Кай**

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕИНЖИНИРИНГА
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

монография

В авторской редакции

Подписано в печать 15.08.2016. Формат 60х84/16
Печать оперативная. Усл. п.л. 11,3
Тираж 500 экз. Заказ № 12-01-01.

Отпечатано с готового оригинал–макета в издательстве ЗЕБРА
432072, Россия, г. Ульяновск, ул. Жуковского, 83.